



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLGIÍ**  
**ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION**  
**DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING**

## **BINOKULÁRNÍ VIDĚNÍ A VÝROBA ANAGLYFŮ**

**BINOCULAR VISION AND ANAGLYPH PRODUCTION**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
MASTER'S THESIS

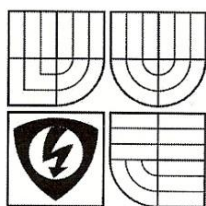
**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**Bc. Pavel Pospíšil**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. Petr Fedra**

**BRNO 2010**



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav biomedicínského inženýrství

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
Biomedicínské a ekologické inženýrství

**Student:** Pospíšil Pavel, Bc.

**Ročník:** 2

**ID:** 83330

**Akademický rok:** 2009/10

**NÁZEV TÉMATU:**

## Binokulární vidění a výroba anaglyfů

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte fyziologii binokulárního vidění pro získání prostorového vjemu z dvourozměrných obrazů pomocí brýlí s barevnými filtry. Porovnejte výhody a nevýhody různých stereoskopických zobrazovacích metod.

Práce musí obsahovat:

1. Návrh a realizaci snímání statické scény pomocí dvojice digitálních fotoaparátů k získání kvalitních dat na výrobu stereoskopického obrazu s komplementárními barvami - anaglyfu.
2. Následné zpracování dat v Matlabu s ohledem na promítání výsledných anaglyfů na plátně v temné místnosti pomocí dataprojektoru.
3. Návrh a realizaci subjektivního hodnocení vyrobených anaglyfů ve skupině pozorovatelů.
4. Zhodnocení kvality snímací aparatury a výsledků subjektivního pozorování.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

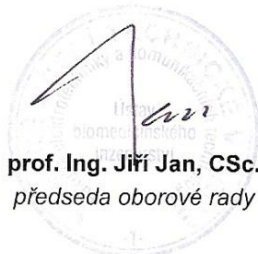
- [1] GANONG, William F., et al. Přehled lékařské fyziologie. Praha: Nakladatelství H&H, 1995. ISBN 80-85787-36-9.  
[2] HLAVÁČ, Václav, ŠONKA, Milan. Počítačové vidění. Praha: Grada, 1992. ISBN 80-85424-67-3.

**Termín zadání:** 12.10.2009

**Termín odevzdání:** 21.5.2010

**Vedoucí práce:** Ing. Petr Fedra

**Konzultanti diplomové práce:**



prof. Ing. Jiří Jan, CSc.  
předseda oborové rady

### UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

# LICENČNÍ SMLOUVA

## POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

### 1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Pavel Pospíšil  
Bytem: Boženy Němcové 96, 56201, Ústí nad Orlicí  
Narozen/a (datum a místo): 26. září 1984 v Pardubicích  
(dále jen „autor“)

a

### 2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií  
se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00  
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:  
prof. Ing. Jiří Jan, CSc, předseda rady oboru Biomedicínské a ekologické inženýrství  
(dále jen „nabyvatel“)

### Čl. 1

#### Specifikace školního díla

#### 1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP)

- ☐ disertační práce
- ☒ diplomová práce
- ☐ bakalářská práce
- ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako.....  
(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Binokulární vidění a výroba anaglyfů

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Petr Fedra

Ústav: Ústav biomedicínského inženýrství

Datum obhajoby VŠKP: 7. nebo 8. června 2010

VŠKP odevzdal autor nabyvateli:

- ☒ v tištěné formě – počet exemplářů: 2
- ☒ v elektronické formě – počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími, a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

## Článek 2

### Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnožení.
2. Licence je poskytována celosvětově pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
  - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
  - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
  - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
  - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
  - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

## Článek 3

### Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne 1. května 2010

.....

Nabyvatel

.....

Autor

## **ABSTRAKT**

Tato práce se zabývá fyziologií binokulárního vidění a s ní spojené stereoskopie, kdy hlavní prezentovanou metodou je výroba anaglyfů. V první části práce je čtenář seznámen s anatomíí a fyziologií oka s úzkým zaměřením především na geometricko-optické vlastnosti oka a podstaty binokulárního vidění, které je základem výroby stereoskopických obrázků. V druhé části jsou představeny jednotlivé metody používané k zobrazování trojrozměrných vizuálních vjemů, jejich princip a technické provedení. Dále práce podrobně popisuje vznik anaglyfu a s ním spojené problematiky. Souběžně s prací vznikl program ANAGLYPH, jež umožňuje připojení dvojice kamer, jejich programové řízení a získávání kvalitních stereoskopických obrázků, které se stávají dobrým základem anaglyfů. Prezentované anaglyfy byly pořízeny pomocí dvojice kamer Logitech C120 a pro srovnání fotoaparáty Canon 450D. Tyto výsledky byly prezentovány skupině pozorovatelů a statisticky vyhodnoceny s jejich následnou analýzou. Elektronická verze práce, všechna získaná data a program jsou na přiloženém DVD.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

binokulární vidění, anaglyf, stereoskopie, horopter, diplopie, ortoskopický, pseudoskopický, paralaxa

## **ABSTRACT**

This work concerns physiology of binocular vision and stereovision. The main topic of this work is the production of anaglyphs. The first part introduces anatomy of the eyes and principle of binocular vision, which is the stereoscopic production based on. The second part introduces the individual methods, it's processes and technical implementation for three-dimensional presentation with focusing on answering questions connected with production of anaglyphs. At the same time the M-script ANAGLYPH was developed, which provides connection with two external cameras and becomes high-quality element of anaglyphs production. All anaglyphs were photographed with couple of Logitech C120 or couple of Canon 450D cameras. Final anaglyphs were presented to a group of observers and they were given question forms. Subjective opinions of observers were statistically analyzed. The electronic version of this work and all the files and data are included on attached DVD.

## **KEYWORDS**

binocular vision, anaglyph, stereoscopy, horopter, diplopia, spectacles, psedoscopic, paralax

POSPÍŠIL, P. *Binokulární vidění a výroba anaglyfů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 78 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Fedra.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Binokulární vidění a výroba anaglyfů jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 20. května 2010

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Fedrovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne 1. května 2010

.....  
podpis autora

## OBSAH:

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>ANATOMIE A FYZIOLOGIE OKA.....</b>	<b>13</b>
2.1	Anatomický popis oka .....	13
2.1.1	Optické části oka .....	14
2.1.2	Přeměna světla na evokované potenciály .....	14
2.2	Světlo jako elektromagnetická vlna .....	15
2.3	Geometricko-optické vlastnosti oka .....	16
<b>3</b>	<b>PROSTOROVÉ – BINOKULÁRNÍ VIDĚNÍ .....</b>	<b>18</b>
3.1	Vnímání hloubky .....	18
3.1.1	Vnímání hloubky binokulárně.....	18
3.1.2	Vnímání hloubky monokulárně.....	19
3.2	Stereoskopická paralaxa .....	20
3.3	Teoretický horopter .....	22
3.4	Fyziologická diplopie .....	23
<b>4</b>	<b>METODY PROSTOROVÉHO ZOBRAZENÍ.....</b>	<b>24</b>
4.1	Využití polarizace světla .....	24
4.1.1	Pasivní projekce .....	26
4.1.2	Aktivní projekce .....	26
4.2	3D polarizační modulátor .....	27
4.3	Brýle z tekutých krystalů .....	28
4.4	Autostereoskopický monitor.....	28
4.5	Systém INFITEC .....	29
<b>5</b>	<b>ANAGLYF .....</b>	<b>31</b>
5.1	Historie vzniku anaglyfů .....	31
5.2	Barevné modely .....	31
5.2.1	Typy barevných modelů .....	32
5.2.2	Barevný model RGB .....	33
5.2.3	Barevný model CMY(K).....	34
5.3	Sestrojení anaglyfu .....	35
5.3.1	Ortoskopický anaglyf .....	36
5.3.2	Pseudoskopický anaglyf .....	37
5.4	Pozice kamery.....	38
5.4.1	Paralelní osy objektivů .....	39
5.4.2	Konvergující osy objektivů .....	39
5.4.3	Stereoskopické sánky pro posun jedné kamery.....	40
5.4.4	Stereoskopické sánky pro dvě kamery .....	41
5.5	Použitý fotoaparát.....	42
5.5.1	Objektiv fotoaparátu.....	42
5.5.2	Současné řízení fotoaparátů .....	43
5.6	Hloubka ostrosti ve fotografii.....	44



5.6.1	Clona .....	44
5.6.2	Citlivost .....	45
5.6.3	Expozice fotografie .....	45
5.7	Pozorovací vzdálenost .....	46
5.8	Oblasti využití.....	46
<b>6</b>	<b>PROGRAM ANAGLYPH.....</b>	<b>48</b>
6.1	Popis programu ANAGLYPH.....	48
6.2	Použití režimu online.....	49
6.2.1	Kamery Logitech C120 .....	49
6.2.2	Nastavení kamer v programu ANAGLYPH .....	50
6.3	Ovládání programu ANAGLYPH .....	51
<b>7</b>	<b>VYTVOŘENÉ ANAGLYFY.....</b>	<b>55</b>
7.1	Anaglyf „A“ .....	55
7.2	Anaglyf „B“ .....	58
7.3	Anaglyf „C“ .....	60
7.4	Anaglyf „D“ .....	61
7.5	Subjektivní hodnocení optimální délky stereobáze .....	63
7.5.1	Série anaglyfů I. ....	63
7.5.2	Série anaglyfů II. ....	65
7.5.3	Série anaglyfů III.....	67
<b>8</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>68</b>
<b>9</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>70</b>
	<b>POUŽITÉ ZKRATKY A NÁZVOSLOVÍ.....</b>	<b>72</b>
	<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>73</b>
	PŘÍLOHA 1: Ukázka zdrojového kódu programu ANAGLYPH.....	73
	PŘÍLOHA 2: Test předkládaný skupině pozorovatelů .....	74
	PŘÍLOHA 3: Gullstandův model oka .....	77

## SEZNAM OBRÁZKŮ:

Obrázek 1: Lidské oko [17].....	13
Obrázek 2: Citlivost sítnice při skotopickém a fotopickém vidění [18].....	15
Obrázek 3: Spektrum světla [6].....	16
Obrázek 4: Optický model oka [29].....	17
Obrázek 5: Zorná pole očí a následný přenos vizuální scény do mozku [19].....	19
Obrázek 6: Stereoskopická paralaxa. ....	21
Obrázek 7: Teoretický horopter. ....	22
Obrázek 8: Fyziologická diplopie. ....	23
Obrázek 9: Horizontální polarizace světla následný vertikální polarizační filtr [20]. ....	25
Obrázek 10: Blokové schéma pasívní stereoskopické projekce.....	26

Obrázek 11: Blokové schéma aktivní stereoskopické projekce. ....	27
Obrázek 12: 3D polarizační modulátor [21]. ....	28
Obrázek 13: Autostereoskopický monitor s lenticulární čočkou a paralaxní barierou [22]. ....	29
Obrázek 14: Filtry INFITEC [23]. ....	30
Obrázek 15: Barevný gamut vidění s jednotlivými barevnými modely [26]. ....	32
Obrázek 16: Barevný model RGB [24]. ....	33
Obrázek 17: Barevný model CMY [24]. ....	34
Obrázek 18: Blokové schéma sestavení anaglyfu. ....	35
Obrázek 19: Skládání barev CMY [24]. ....	36
Obrázek 20: Ortoskopický anaglyf. ....	37
Obrázek 21: Pseudoskopický anaglyf. ....	37
Obrázek 22: Paralelní vedení os objektivů. ....	39
Obrázek 23: Konvergující osy objektivů. ....	40
Obrázek 24: Sánky Manfrotto. ....	41
Obrázek 25: Stereoskopické sánky pro dvě kamery. ....	42
Obrázek 26: Uspořádání čoček [25]. ....	43
Obrázek 27: Síťový graf jako anaglyf [28]. ....	47
Obrázek 28: Hlavní okno programu ANAGLYPH. ....	49
Obrázek 29: Zobrazení RGB. ....	52
Obrázek 30: Zobrazení Red&Cyan. ....	53
Obrázek 31: Barevná hodnota jednotlivých pixelů. ....	53
Obrázek 32: Zobrazení v stupních šedi & histogram. ....	54
Obrázek 33: Anaglyf „A“; PD = 120mm, d = 3000mm. ....	56
Obrázek 34: Anaglyf „A“; PD = 60mm, d = 3000mm. ....	56
Obrázek 35: Teoretický horopter pro anaglyf. ....	57
Obrázek 36: Anaglyf „B“; PD = 50mm, d = 750mm. ....	59
Obrázek 37: Anaglyf „C“; PD = 50mm, d = 600mm. ....	60
Obrázek 38: Anaglyf „D“; PD = 50mm, d = 600mm. ....	62
Obrázek 39: Anaglyf ze série anaglyfů I., PD = 40mm. ....	63
Obrázek 40: Anaglyf ze série anaglyfů II., PD = 70mm. ....	65
Obrázek 40: Anaglyf ze série anaglyfů II., PD = 20mm. ....	66

#### SEZNAM TABULEK:

Tabulka 1: Barevné modely. ....	32
Tabulka 2: Standardy pro vyjádření barevné mohutnosti. ....	33
Tabulka 3: Hyperfokální tabulka [m], [27]. ....	45
Tabulka 4: Základní optické veličiny Gullstrandova oka [29]. ....	77

#### SEZNAM GRAFŮ:

Graf 1: Série anaglyfů I., pozorovatele bez dioptrické korekce. ....	64
Graf 2: Série anaglyfů I., pozorovatelé s dioptrickou korekcí. ....	64
Graf 3: Série anaglyfů II., pozorovatelé bez dioptrické korekce. ....	65
Graf 4: Série anaglyfů II., pozorovatelé s dioptrickou korekcí. ....	66

# 1 ÚVOD

V době vzniku této práce je otázka stereoskopie tématem stoupajícím v povědomí široké veřejnosti, ke kterému přispělo zejména rozšíření filmů využívajících prostorové prezentace, jež přináší divákovi hluboký, silně emotivní zážitek. V této oblasti je světovým lídrem a průkopníkem Kanadská společnost IMAX se sítí projekčních sálů po celém světě. Aktuálně je na trhu velmi široká nabídka televizí pro běžné domácnosti, podporující technologii stereoskopie. S postupným rozvojem trhu a zavedením sériové výroby se snižuje cena zařízení a zvyšuje kvalita poskytované prezentace. Aktuálně se trh připravuje na uvedení mobilních telefonů s displeji podporujícími prostorové zobrazení.

Teorie středového zobrazení byla popsána již ve starém Řecku a od poloviny devatenáctého století je přesně definován a popsán princip stereoskopického zobrazování. Vnímání hloubky prostoru člověkem je způsobeno životními zkušenostmi a především pozorování předmětů pod určitým úhlem z dvou rozdílných míst, jimiž jsou pravé a levé oko posunuté o takzvanou vzdálenost stereobáze. Vnímáme tedy dva rozdílné dvojrozměrné obrazy, jejichž spojení a výsledný prostorový dojem vzniká v lidském mozku. Chceme-li získat prostorový efekt z promítaného obrázku, musíme zajistit separátní prezentaci dvou dvojrozměrných obrázků pravému a levému oku. Dnes je známo mnoho kvalitních technologií, zajišťujících prezentaci každému oku zvlášť ve velmi vysoké kvalitě s plným zachováním barevné informace. Jedním ze základních metod tvorby a prezentace prostorového vjemu je právě práce s barevnou informací dané scény. Pomocí vhodného převedení pravého a levého obrázku pořízených za přesně definovaných podmínek do dvou doplňkových barev (aditivních). Ty jsou následně složeny do jednoho obrázku a jeho pozorování je možné pomocí brýlí s inverzně umístěnými filtry v daných doplňkových barvách. Touto metodou získaný stereoskopický obrázek se nazývá anaglyf. Je nejrozšířenější metodou z hlediska stereoskopických technik na celém světě z důvodů velmi nízkých ekonomických nákladů, jednoduchosti tvorby i následné prezentace divákovi. Nemalou částí k rozšíření anaglyfů mezi uživateli přispěla možnost tvorby beznákladové digitální fotografie a následně fenomén internet, kde uživatelé nachází programovou podporu, sdílí dojmy, poznatky a výsledky své práce.

Anaglyf jako celek poskytuje nepřeberné množství uplatnění v mnoha technických i humanitních oborech. Využívá se pro výuku, vyšetření binokulárního vidění, prezentaci reklamních materiálů, architektonických materiálů, video prezentace a neposlední řadě pro zábavu a mnohá další využití. S tvorbou anaglyfů je však spojena rozlehlá škála problematiky, kterou dokážeme eliminovat na minimum se znalostmi počínajícími anatomii lidské oka a pokračujícími přes fyziologii binokulárního vidění, znalostí optických modelů, definování rozložení vzdáleností jednotlivých objektů, práce s barevnými složkami a modely, volbou záznamové techniky pro získání stereoskopických obrázků, jejich řízením, mobilitou, uchycením, natočením os jednotlivých objektivů, vhodnosti prezentace a znalostí

subjektivních pocitů z pozorování jednotlivých uživatelů. Na všechny tyto otázky a mnohé další najdeme odpověď v následující práci.

V práci, je dále k výše uvedené teorii a výzkumu subjektivního vlivu na skupinu pozorovatelů, obsažen návrh držáku dvou kamer v programu Autodesk Inventor 2009 Suite a program, vytvořený pro současné řízení dvojice kamer a tvorbu anaglyfů v programovém prostředí Matlab 2008b.

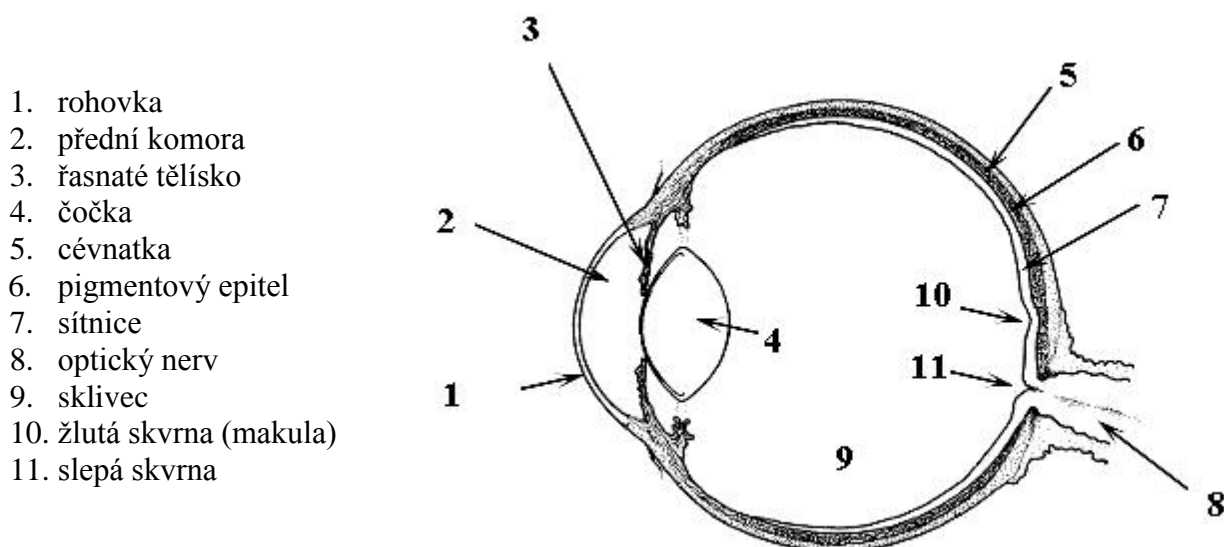
## 2 ANATOMIE A FYZIOLOGIE OKA

V této kapitole se blíže seznámíme s anatomií a funkcí oka. Oko je bráno jako smyslový orgán, který dokáže reagovat na světlo, můžeme o něm tedy mluvit, jako o světločivém orgánu. Oko je též párový orgán, který plně spolupracuje ve všech oblastech své funkce, na čemž je ve své podstatě založen princip binokulárního vidění. Oko popisujeme jako pasivní zobrazovací prvek.

### 2.1 Anatomický popis oka

Veškeré práce zabývající se podstatami založenými na principu lidského oka, vyžadují znalost anatomické stavby oka, která nám přibližuje vlastní podstatu tohoto orgánu a jeho komplikovaných funkcí. Pro tuto práci je z anatomického složení nejpodstatnější vzdálenost očí a optická část oka, jenž zahrnuje především rohovku, duhovku (clonu), přední komoru s komorovou vodou, čočku a sklivec. Neopomenutelnou kapitolou je pak akomodace oka, konvergence, zraková ostrost a prostorové-binokulární vidění. Pro lepší pochopení fyziologie vidění bude popsáno vedení vjemu zrakovým nervem do mozku a senzorické zpracování, tedy smyslové vyhodnocení výsledného parametrického pole.

**Oko (*bulbus oculi*)** má přibližný tvar koule a je uloženo v očníci, kdy udávaná vzdálenost je 10 mm od očníce. Velikost bulbu je závislá na daném jedinci, jako průměrnou hodnotu uvádějí různé zdroje literatur velikost 24,1 mm a vzdálenost od zadní plochy rohovky k žluté skvrně, tedy podél optické osy, pak 21,74 mm [1], [3].



Obrázek 1: Lidské oko [17].

### 2.1.1 Optické části oka

V této části jsou popsány jednotlivé části oka, přes které prochází paprsek (elektromagnetická vlna ve viditelném spektru), jakožto nositel informace, a které ovlivňují jeho dráhu před dopadem na sítnici.

**Rohovka (cornea)** – její základní vlastností je průhlednost, je vytvářena stejným typem vláken. Z venkovní strany je obklopována okolním prostředím, ve kterém se právě daný jedinec nachází (vzduch). Z vnitřní strany je pak ve styku s komorovou vodou, jež zvyšuje její lomivou sílu. Rohovka má tvar horizontálně uložené elipsy, kdy její rozměry jsou: horizontálně  $11,5 \div 12$  mm a vertikálně 11 mm. Poloměr zakřivení je pro přední plochu rohovky 7,8 mm a pro zadní 7 mm. Tloušťka rohovky v jejím centru může dosahovat 0,6 mm a v její periférii pak kolem 1 mm [1], [3].

**Komorová voda (humor aqueus)** – je čirá, bezbarvá tekutina, která má velmi nízký obsah bílkovin a svým složením se podobá obyčejné vodě. Index lomu komorové vody je 1,33. Komorová voda je neustále produkována a slouží jako výživa pro čočku, kdy celkový objem komorové vody v oku je udáván jako  $1,23\text{cm}^3 \div 1,32\text{cm}^3$ .

**Duhovka (iris)** – odděluje přední a zadní oční komoru, ve svém středu má zornici (pupila), tedy kruhový otvor s měnící se velikostí průměru na závislosti mohutnosti dopadajícího světla na sítnici. Duhovku tedy můžeme přirovnat k cloně v našem fotoaparátu, kdy velikosti průměru otvoru regulujeme množství světla dopadajícího na světločivý prvek. Pokud přistoupíme k podobnosti oka s optikou fotoaparátu je nutno podotknout, že duhovka je zde jako druhá jemnější clona, kdy první clonou jsou oční víčka.

**Čočka (lens cristallina)** – je uzavřená ve svém vlastním pouzdře, má bikonvexní tvar se zakulaceným okrajem a mezi její hlavní vlastnosti se řadí elasticita. Tvar čočky je měněn dle vzdálenosti předmětu, na který oko akomoduje za pomoci řasnatého tělíska. Základní parametry čočky jsou její průměr, který se pohybuje podél ekvátoru okolo 9 – 10 mm, tloušťka je cca 4 mm. Poloměr zakřivení přední plochy je bez stavu akomodace 11 mm a zadní plochy 6 mm [3]. Průhlednost čočky klesá s věkem.

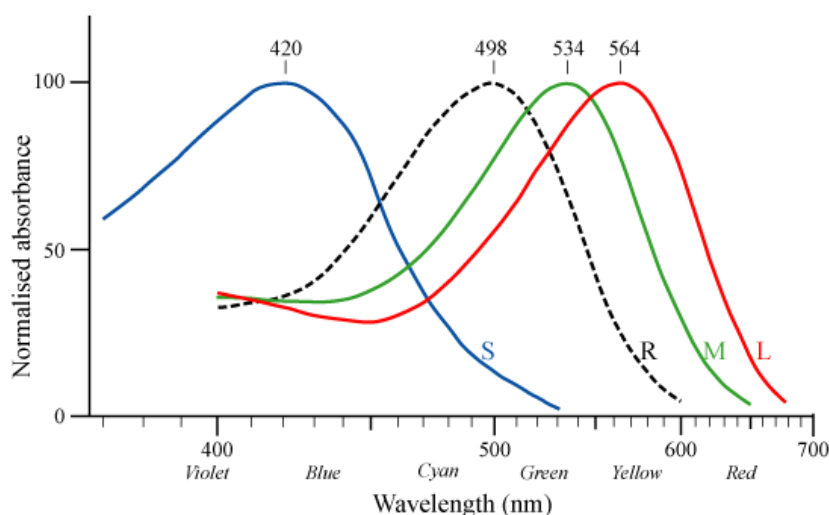
**Sklivec (corpus vitreum)** – je bezbarvá želatinózní tekutina svým složením velmi podobná komorové vodě, kdy se zde však oproti zmíněné komorové vodě vyskytuje specifická bílkovina vitrin. Sklivec má pak 16x větší viskozitu než komorová voda [1], [3].

### 2.1.2 Přeměna světla na evokované potenciály

Světlo se od svého zdroje šíří jako forma elektromagnetické vlny, která obsahuje energii. Po dopadu na předmět se světlo pozmění dle vlastností předmětu, dojde zde k pohlcení části energie a reflexi. Po průchodu optickou částí oka, nositel informace – viditelné světlo, dopadne na sítnici, kde je přeměněno na evokované potencionály, tedy elektrický signál, šířící se následně nervovými vlákny do zrakového centra v mozku, kde je obraz dále zpracován a

vyhodnocen jako subjektivní vjem. Převodním systémem z formy elektromagnetické vlny na evokované potencionály je zde tedy sítnice (retina), jež je podrobněji popsána níže.

**Sítnice (retina)** – zde se komplikovaným chemickým procesem mění dopadající paprsky na elektrické impulsy, směřující dále do mozku, kde jsou podstoupeny k dalšímu zpracování. Technicky je popsatelná jako mozaiky senzorů, jimiž jsou tyčinky a čípky. Samotná sítnice je složena z 11 vrstev nejrozličnějších buněk specifických úloh. Jedněmi z nich jsou tyčinky (rods) zajišťující takzvané skotopické vidění, tedy vidění za špatných světelných podmínek, kdy nejvyšší úroveň citlivosti vykazují v oblasti 498 nm. Druhým typem jsou čípky (cones), zajišťující vidění za dobrých světelných podmínek (fotopické), můžeme rozlišovat tři druhy čípků pro různé barvy – červenou, zelenou a modrou. Každá z těchto barev má svou největší citlivost na jiné vlnové délce, to je názorně zobrazeno na *obrázku 2* (*Citlivost sítnice při skotopickém a fotopickém vidění*). Na sítnici rozlišujeme oblast s největší hustotou čípků, které jsou zde velmi dlouhé a jemné, takzvanou žlutou skvrnu (macula lutea). Jedná se o bod, do kterého automaticky směřujeme část scény, který chceme vidět nejprecizněji. Opakem této oblasti je optický disk neboli slepá skvrna. Zde se sbíhají veškerá nervová vlákna do zrakového nervu, jímž putují evokované potencionály do mozku.

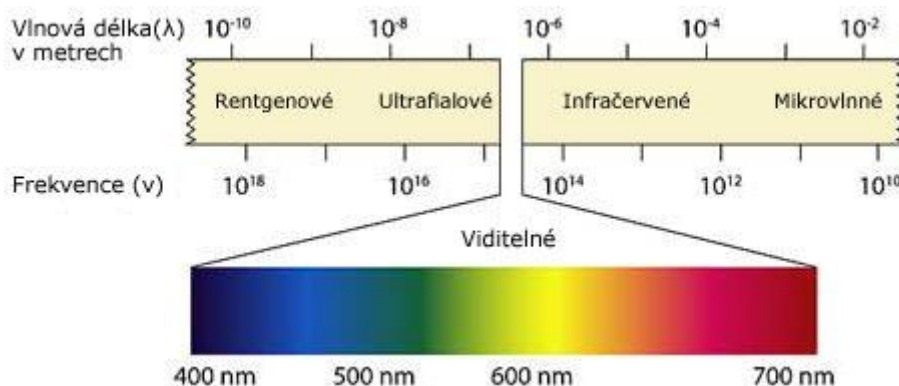


Obrázek 2: Citlivost sítnice při skotopickém a fotopickém vidění [18].

## 2.2 Světlo jako elektromagnetická vlna

Jak bylo uvedeno, oko je pasivní zobrazovací prvek, scéna, kterou vnímáme, musí být tedy osvětlena, vykazuje pak určitou formu energie, která se od tělesa šíří (reflexe, absorpce) a je popisována jako elektromagnetické záření. Elektromagnetickou vlnu popisujeme, jako signál nesoucí informaci prostorového rozložení světelné energie, kdy jsou na sebe navzájem kolmé vektory elektrické intenzity  $E$  a magnetické indukce  $B$ . Tyto oba vektory jsou pak kolmé k vlně vektoru, který je ve směru šíření dané světelné vlny. Na *obrázku 3* (*Spektrum světla*) je uvedena barevná škála, kterou lidské oko dokáže rozpoznat. Frekvenční pásmo je

v rámci magnetického pole neomezeně široké. Z tohoto širokého spektra může lidské oko vnímat pouze malou část, kterou centrální nervová soustava – mozek, je schopen vnímat jako různé barvy. Hodnota hranice, uváděné vlnové délky viditelného spektra světla, se v různých zdrojích liší, jako dolní hranice je uváděno 380 nm (tmavě fialová barva) a jako horní hranice 740 nm (tmavě červená barva). Jedná se o individuální interval jedince s rozmezím tolerovatelným a zanedbatelným u zdravých jedinců.

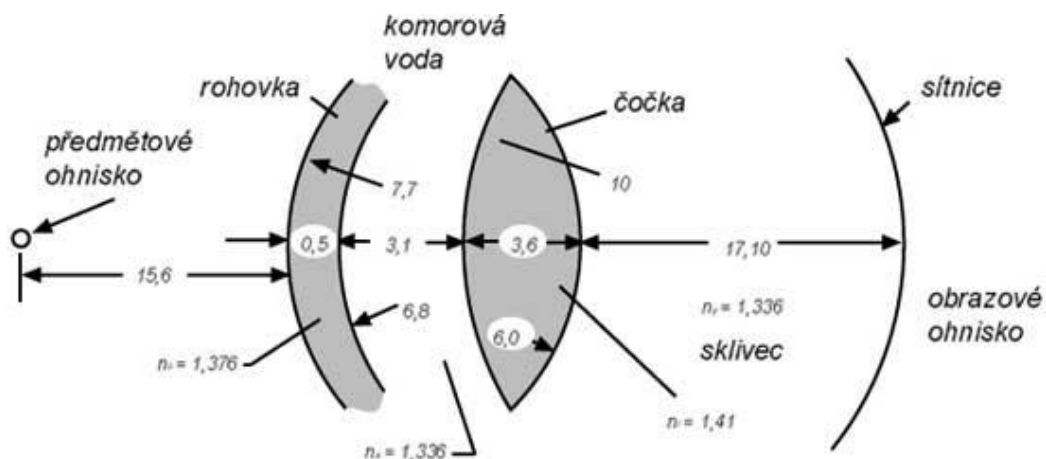


Obrázek 3: Spektrum světla [6].

## 2.3 Geometricko-optické vlastnosti oka

Aby mohl být vytvořen obraz scény na sítnici, musí světelné paprsky – energetické vlny odražené od scény, projít optickou soustavou oka. Světelný paprsek dopadá jako první na přední plochu rohovky, tkáň rohovky, zadní plochu rohovky, prochází komorovou vodou, přední plochou čočky, opticky složitou tkání čočky, zadní plochou čočky, sklivcem a dopadá na sítnici. Mezi rozhraním komorové vody a čočkou je kruhový otvor duhovky, která zastává funkci vstupní clony. Ta koriguje množství světelného paprsku dopadajícího na sítnici. Na následujícím [obrázku 4 \(Optický model oka\)](#) jsou znázorněny jednotlivé důležité parametry, kdy  $n$  udává index lomu a dále jsou zde uvedeny poloměry zakřivení [m] a jednotlivé vzdálenosti optických prvků [mm].





Obrázek 4: Optický model oka [29].

Oko, jako matematický model, je popsáno Gullstrandovým modelem. Oko je definováno v podobě koule a jsou zde jasně definované fyzikální hodnoty, kdy délka oka je 24 mm a refrakce oka +1dpt. Refrakční síla celé optické soustavy je 59 dpt z čehož 2/3 jsou pomocí rohovky. Maximální průměrná akomodace oka je 14dpt, s věkem však rapidně klesá. Jednotka dioptrie udává optickou mohutnost čočky a je převrácenou hodnotou ohniskové vzdálenosti, tedy se vzrůstem zakřivení čočky se zvyšuje její optická mohutnost, jednotka 1dpt vyjadřuje ohniskovou vzdálenost jeden metr. Na základě výše uvedených faktů můžeme říci, že čočka s ohniskovou vzdáleností 50cm má optickou mohutnost  $1 / 0,50 = 2\text{dpt}$  [5].

### 3 PROSTOROVÉ – BINOKULÁRNÍ VIDĚNÍ

Náš zrak nám dovoluje vnímat prostředí jako trojrozměrný prostor. Tento jev je založen na možnosti pozorování objektu ze dvou různých míst, které zajišťuje různá poloha očí. Středů očních pupil u člověka jsou od sebe vzdáleny 54 až 75 mm, kdy nejčtetnější hodnota se vyskytuje v oblasti 65mm, tato vzdálenost je označována jako stereobáze [3].

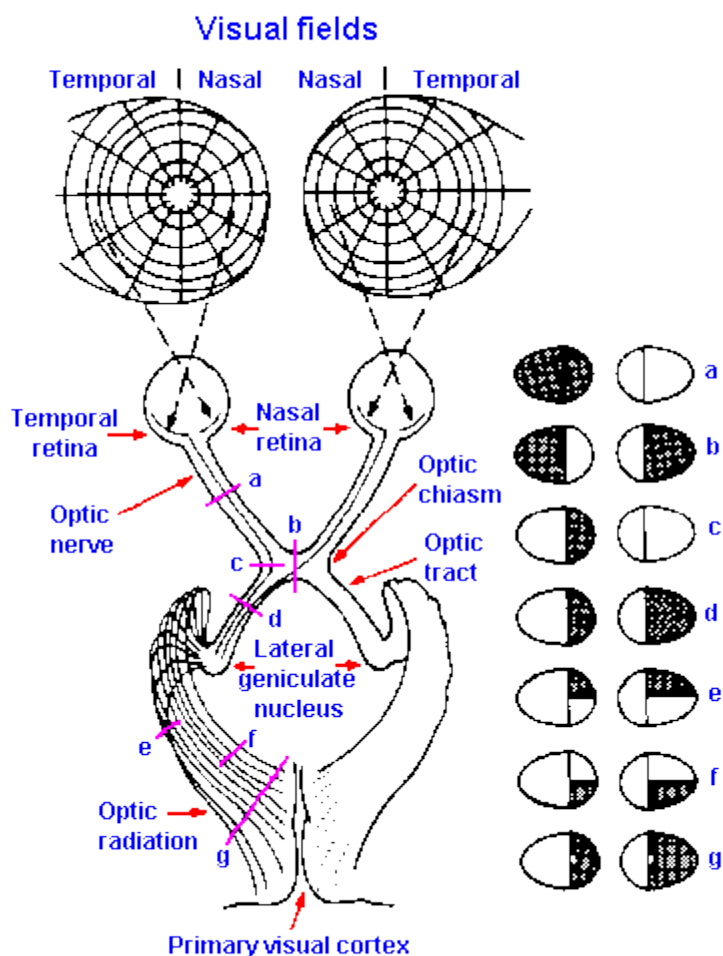
#### 3.1 Vnímání hloubky

Tím, že vnímáme scénu ze dvou rozdílných bodů, získáváme představu o hloubce scény, rozeznáváme tedy třetí dimenzi prostoru, kterou je právě hloubka. S hloubkou scény souvisí velikost hloubky ostrosti, ta je udávána jako délka vzdálenosti mezi nejbližším bodem a nejvzdálenějším bodem, který jsme schopni zaostřit. Lidské oko zaostřuje změnou optické mohutnosti čočky – akomoduje. Zdravý člověk je pak schopný zaostřit od vzdálenosti 7cm do nekonečna [1], [5].

V textu se setkáváme s pojmem ostrost. Jak je tedy definovaný ostrý a neostrý obraz? Naše oko dokáže rozpoznat dva body pouze za podmínky, jeli jejich úhlová vzdálenost větší než jedna minuta. Často se k popisu používá kružnice o poloměru právě jedna úhlová minuta v angličtině označovaná jako Circle of confusion, tedy kružnice splývání. Všechny body v této kružnici pak splývají v jeden bod a body mimo kružnici jsou samostatné [10].

##### 3.1.1 Vnímání hloubky binokulárně

Při binokulárním vidění (vidění oběma očima) se uplatňuje vzájemná kooperace očí, které fungují jako párový orgán a pohybují se zcela identicky. Šest očních svalů stáčí oči tak, aby se obraz fixovaného bodu promítl do místa s nejlepším prostorovým rozlišením – žluté skvrny. Osy obou očí jsou směřovány, aby docházelo k jejich protnutí ve fokusovaném předmětu, tyto pohyby jsou pak popisovány jako reflexně fúzní. V každém oku vzniká jedinečný obraz, avšak sítnice obou očí vystupují jako jediný orgán, který je následně převeden pomocí zrakového nervu do mozku, kde dojde k jeho vyhodnocení, většinou dle zkušeností nabytých během života. Zobrazení zorného pole lidského pohledu s přenosem evokovaných potencionálu je znázorněno na následujícím *obrázku 5 (Zorná pole očí a následný přenos vizuální scény do mozku)*. Jak je z obrázku patrné, nervová vlákna z nasální poloviny sítnice vedou do opačné poloviny mozku a nervová vlákna z temporální poloviny sítnice vedou do identické poloviny mozku. Body a-g ukazují následky poškození nervového vedení v daném místě. Neměli bychom zapomenout, že obraz na sítnici je převrácený.



Obrázek 5: Zorná pole očí a následný přenos vizuální scény do mozku [19].

### 3.1.2 Vnímání hloubky monokulárně

Na základě dosud rozebrané teorie můžeme předpokládat, že hloubku obrazu a trojrozměrný obraz můžeme vnímat pouze, pozorujeme-li scénu – primární parametrické pole oběma očima zároveň. Pokud by tento předpoklad platil, nedokázali bychom při jednom zavřeném oku a tím tedy vnímání jen 2D scény, odhadovat vzdálenosti předmětů. Zde se však projevují znalosti získané během dosavadního života. Nastane-li tedy situace, že pozorujeme jedním okem hrníček, který se bude v pozorované scéně jedním okem jevit stejně veliký jako dům na stejné scéně, z našich doposud získaných životních zkušeností můžeme jasně říci, že hrníček je mnohem blíže. Dalším ukazatelem hloubkové vzdálenosti předmětů ve scéně je jejich vzájemné překrývání. Nezanedbatelným hlediskem v posuzování vzdálenosti předmětu může být i změna barvy, kdy vycházíme z teoretické znalosti, že vzduch není stejně propustný pro všechny vlnové délky světla, předměty ztrácejí se vzdáleností svou barevnost a stávají se modrošedými až tmavými. Dalšími parametry udávajícími prostorové určení scény jsou různé světelnosti, stíny a může jím být i pohyb pozorovatele, kdy u pohybu

směrem do pozorované scény můžeme pozorovat rovnoměrný pohyb vzdálených předmětů s námi, jakožto s pozorovatelem a naopak protichůdný pohyb předmětů nám blízkým. Interpretace pravidel monokulárního vnímání prostoru neodmyslitelně patří do našeho běžného života a těchto znalostí využíváme při konstruování různých technických zařízení ať už v běžném životě, jako jsou dopravní značení, kde využíváme znalostí pro zvýraznění vzdálenosti, nebo v lékařství, například pro vyšetření zraku.

## 3.2 Stereoskopická paralaxa

Tato část má za úkol seznámit čtenáře s možností určení tzv. meze stereoskopického vidění, která udává hodnotu, při níž stereoskopické (binokulární) vidění přestává. Tato inkriminovaná hodnota je udávána vzdáleností od očí a je často označována také jako poloměr stereoskopického vidění.

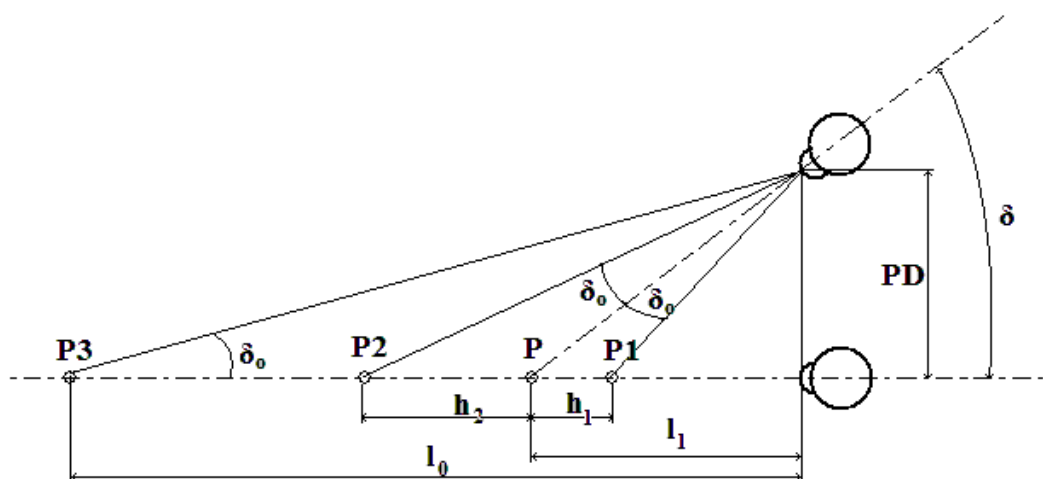
Při pozorování předmětu svírají oční osy úhel  $\delta$ , který je nazýván stereoskopická paralaxa (paralaktický úhel) [2]. Tuto stereoskopickou paralaxu  $\delta$  vyjadřuje následující vztah:

$$\delta = \frac{d}{PD} \quad [1]$$

$d$  – vzdálenost předmětu

$PD$  – vzájemná vzdálenost zornic (hodnota stereobáze)

Vzdálenost dvou bodů od sebe při binokulárním vidění je určeno podmínkou, kdy absolutní hodnota rozdílu odpovídajících stereoskopických paralax  $\Delta\delta_0 = |\delta - \delta_1|$  je větší nebo rovna 0,0001, tedy  $\Delta\delta_0 = 0,0001$ , (tj. 20"). Tuto hodnotu nazýváme mez stereoskopického vidění. Jedná se však o hodnotu individuální pro každého jedince a může dosáhnout i menších hodnot. Modelová situace vyplývá z náčrtku na [obrázku 6](#) (Stereoskopická paralaxa  $\delta_1$ ).



Obrázek 6: Stereoskopická paralaxa.

P, P1, P2, P3 – jednotlivé fixované body

$l_0$  - poloměr stereoskopického vidění

$l$  - vzdálenost předmětu

$\delta_0$  – mez stereoskopického vidění

$\delta$  – stereoskopická paralaxa

Při pohledu na scénu posuzujeme subjektivně vzdálenost jednotlivých předmětů vzhledem k sobě, tedy vzhledem k pozorovateli. Zajímavé je, že do určité vzdálenosti se nám předměty jeví, jako blíže postavené a od této vzdálenosti jako dále postavené. Při fixaci bodu P se budou předměty, splňující podmínku vztahu  $|^1$ , jevit jako vzdálenější a předměty, splňující podmínku  $|^2$ , se budou jevit jako bližší.

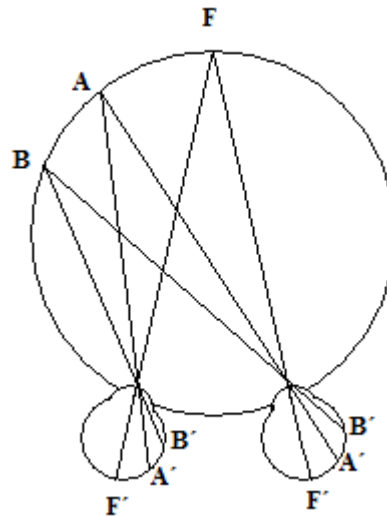
$$h_1 \geq \frac{l_1^2}{l_0 + l_1} \quad |^1$$

$$h_1 \leq \frac{l_1^2}{l_0 - l_1} \quad |^2$$

Vzdálenost mezi  $P_2$  a  $P_3$  již není pozorovatelná, vnímat rozdílnou vzdálenost předmětů můžeme mezi předměty  $P_1$  a  $P_2$  a mezi předměty  $P_1$  a  $P_3$ . Je-li stereoskopická paralaxa menší než  $2''$ , což u vzdálenosti  $PD = 65\text{mm}$  odpovídá vzdálenosti  $l = 40\text{m}$ , přestává hloubkové vidění existovat.

### 3.3 Teoretický horopter

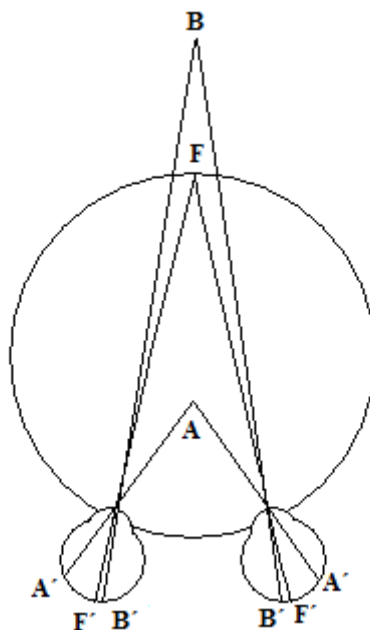
Teoretickým horopterem rozumíme plochu v prostoru před námi, kdy tuto plochu tvoří body, jež odpovídají korespondujícím bodům na sítnici. Každý bod, který je částí této plochy, pak vidíme jednoduše. Body na horopteru zprostředkovávají dojem stejné vzdálenosti od vlastního oka. Plochu horopteru můžeme znázornit pomocí Viethovy–Mullerovy kružnice, jak je naznačeno na *obrázku 7* (*Teoretický horopter*).



Obrázek 7: Teoretický horopter.

### 3.4 Fyziologická diplopie

V případě, že se body  $A$  i  $B$  zobrazují na nekorespondujících místech sítnice, tedy na místech disparátních, vzniká fúzní obraz, u kterého rozeznáváme právě námi hledanou hloubku. V případě bodu  $A$  vzniká nezkřížená fyziologická diplopie a tím dojem, že předmět je k nám blíže a u předmětu  $B$  vzniká zkřížená fyziologická diplopie s dojmem, že předmět je vzdálenější, *obrázek 8* (*Fyziologická diplopie*). Pracujeme tedy, již s dříve diskutovanou hloubkovou ostroty, popsanou rozdílem úhlů, který svírá blíže a dále ležící bod, tedy takzvanou paralaxu diskutovanou v *kapitole 3.2*. Dochází zde ke změně optické mohutnosti čočky – akomodaci a při pozorování objektu směrem z nekonečna k pozorovateli, je provázena konvergencí optických os očí - dochází k jejich zbíhání. Pozorujeme doprovodné zmenšování zornice [1].



Obrázek 8: Fyziologická diplopie.

## 4 METODY PROSTOROVÉHO ZOBRAZENÍ

Na základě poznatků z oblasti fyziologie vidění, binokulárního vidění a fyzikálních poznatků z oblastí optiky, jsme schopni vhodným zachycením scény a především vhodnou prezentací reprodukovat scénu i s její hloubkou. Dokážeme tedy navodit pocit 3D zobrazení, kdy předměty vystupují z monitoru, případně filmového plátna a u diváka je navozen pocit, že se stává součástí scény. Využíváme základních vlastností popsanych v každé učebnici fyziky a to polarizace světla a využití vlnových délek světla, kdy pracujeme s komplementárními barvami. Tyto základní metody budou pro dokonalé pochopení principu, na kterém jsou založeny popsány u jednotlivých metod. Jednou z dalších možností je využití střídavého zatmívání levého a pravého oka a promítáním jednotlivého obrazu pro každé oko zvlášť v dostatečné rychlosti.

Využití polarizace světla a zvládnutí technických úskalí synchronizace projekce, nám poskytuje nejkvalitnější možnost vjemu prezentované scény, bez jakékoli barevné ztráty. To je však zapláceno poměrně vysokými technickými nároky na zajištění prezentace takto pořízených materiálů. Rozlišujeme zde zobrazení pasivní a aktivní. Principu střídavého zobrazování obrazu pro pravé a levé oko využívá také technologie brýlí z tekutých krystalů propojených s grafickou kartou (e-clips, shuteer glasses). Zvláštní možností prezentace prostorového vjemu jsou takzvané autostereoskopické monitory, zde je před monitorem připevněna speciální lenticulární čočka, nebo paralaxní bariéra zprostředkovávající separátní obrazy pro levé a pravé oko, jako u jediné metody není potřeba brýlí. Pokud bychom metody chtěli rozlišovat dle způsobu zobrazení, budeme mluvit o dvou základních skupinách a to stereoskopických a autostereoskopických.

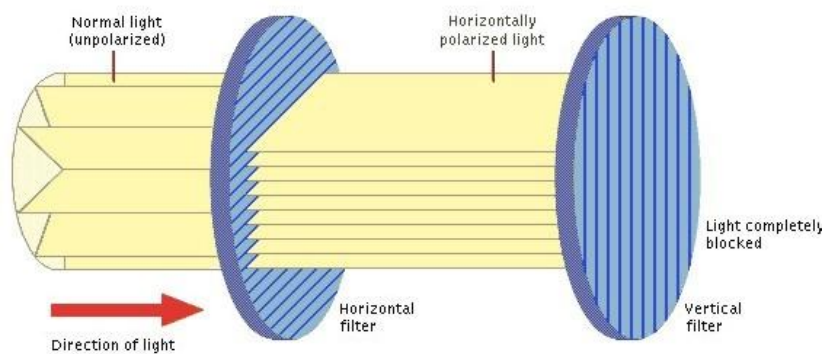
Další možností, jak prezentovat prostorový vjem, je využití vlnových délek a s tím spojených komplementárních barev. Zde je nejznámější metodou soutisk stereoskopických obrázků v komplementárních barvách – anaglyfů, ty jsou hlavním tématem této práce, proto je jim a jejich problematice věnována celá následující *kapitola 5*. K prezentaci je zapotřebí pouze jednoduchých brýlí s barevnými filtry, značnou nevýhodou je ztráta barevné informace. Tuto ztrátu barevné informace řeší systém INFITEC, kde je použito mísení třech základních barev za použití dvou vlnových délek pro každou z nich. Tento systém je však již na zcela jiné technické úrovni než využití anaglyfů a cenové náklady jsou mnohonásobně vyšší. Jednotlivé metody jsou popsány níže.

### 4.1 Využití polarizace světla

Jak již v *kapitole 2.2* (*Světlo - elektromagnetická vlna ve viditelném spektru*) bylo řečeno, světlo se šíří jako elektromagnetická vlna a šíří se zcela náhodně, tedy nepolarizovaně. Elektrické pole je stále kolmé ke směru šíření vlny, mění však zcela nahodile svůj směr. Toto nepolarizované světlo můžeme polarizovat průchodem vhodnými krystaly,



nebo polarizačním filtrem. Ten je vyroben vrstvou rovnoběžných dlouhých molekul, při následném dopadu nepolarizovaného světla projde filtrem pouze elektrická složka se souhlasným směrem, ostatní složky jsou pohlceny nebo zaniknou. Tento princip je znázorněn na [obrázku 9](#).

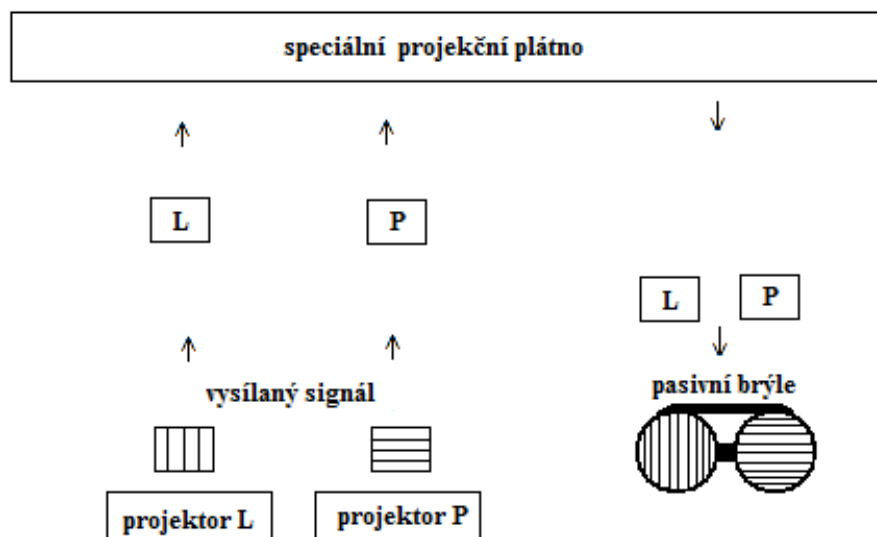


Obrázek 9: Horizontální polarizace světla následný vertikální polarizační filtr [20].

Pakliže sestavíme brýle, kde jedno sklo propouští horizontálně polarizované světlo a druhé vertikálně polarizované světlo, můžeme pak pomocí dobře sestavené projekce – střídavě promítané snímky s horizontální a vertikální polarizací, dosáhnout efektu vnímání promítané scény i s její hloubkou.

### 4.1.1 Pasivní projekce

Z výše popsaného principu je odvozena pasivní stereoskopická projekce. Základem jsou dva projektory, které promítají pravý a levý obraz, před nimi jsou umístěny polarizační filtry s rozdílnou polarizací světla. Vysílaný obraz dopadá na speciální projekční plátno, které zachovává polarizaci dopadajícího světla a nikterak ji nemění. Divák má nasazeny polarizační brýle se souhlasnými polarizačními filtry, pro pravé a levé oko, jako jsou filtry pro vysílaný obraz pravého a levého projektoru. Tím je zajištěno, že levým okem divák vnímá obraz určený pro levé oko a pravým pro pravé. Takto získaný obraz je velmi kvalitní ve vysokém rozlišení a je možné ho sledovat ve větším počtu lidí. Značnou nevýhodou je však nutnost použití dvou projektorů a plátna se speciálním povrchem zachovávajícím polarizaci světla. Blokové schéma je uvedeno na *obrázku 10* (*Blokové schéma pasivní stereoskopické projekce*).

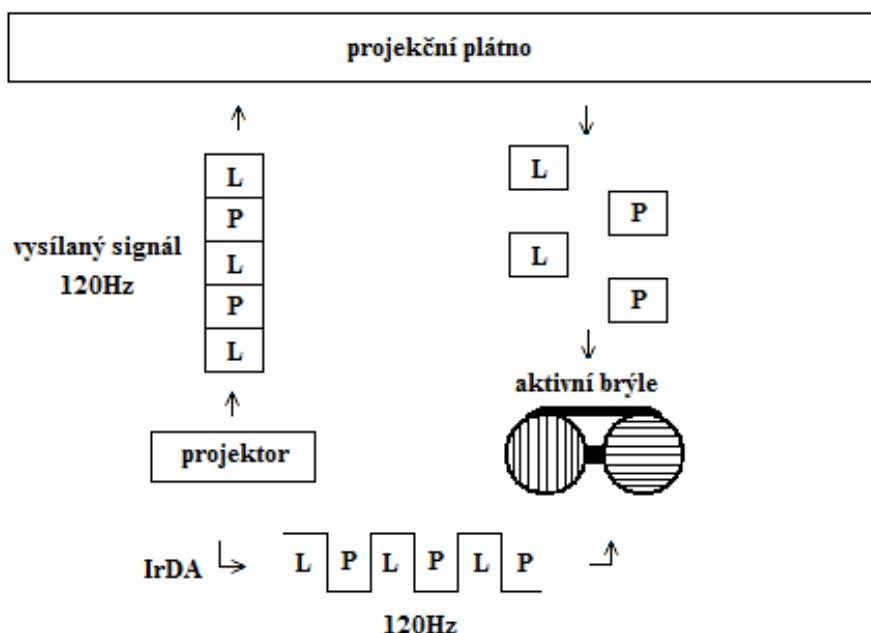


Obrázek 10: Blokové schéma pasivní stereoskopické projekce.

### 4.1.2 Aktivní projekce

Nevýhodu použití speciálního projekčního plátna a dvou projektorů řeší systém aktivní stereoskopické projekce. Systém je založen na technologii vysílání obrazu s dvojnásobnou snímkovou frekvencí, kdy jsou prokládány střídavě snímky pro levé a pravé oko. Je zde nutnost zajistit synchronizaci vysílání obrazu s brýlemi diváka, které střídavě zatmívají pravé a levé oko. Výsledkem je pak, že každý první snímek je poskytnut pravému oku a každý druhý oku levému. Vzniká tedy mezera mezi obrazy prezentovanými pro jednotlivé oko, ta je však díky vysoké snímkové frekvenci nepostřehnutelná a mozek z dvojice oddělených snímků poskládá výslednou prostorovou scénu. Této metody využívají kina IMAX SOLIDO, kdy je

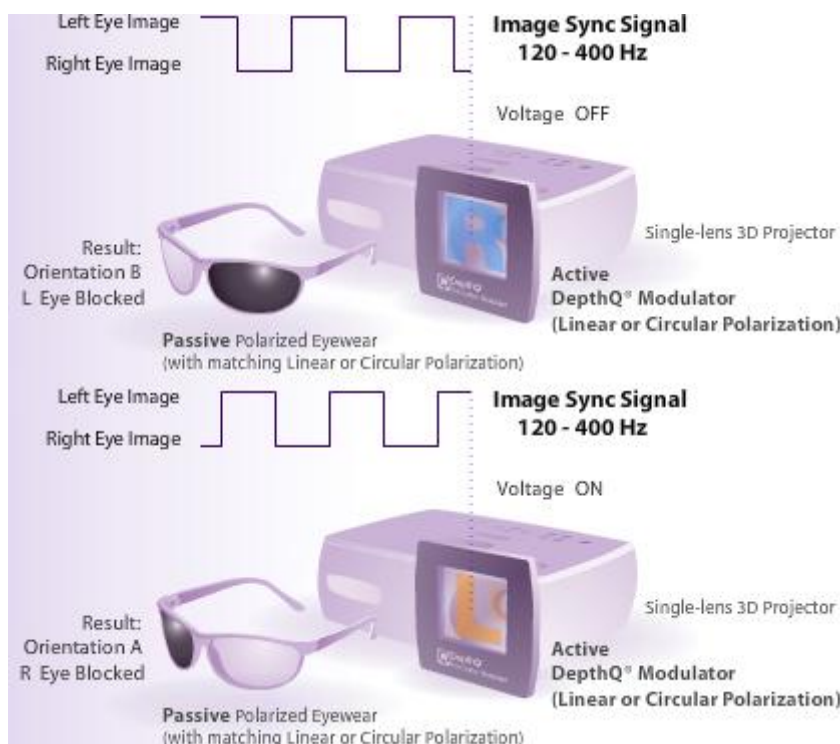
mezi filtry umístěn průzor s přijímačem zajišťujícím synchronizaci, jeho zakrytím vyrušíme prostorový efekt scény. Tato metoda je výhodně využívána pro domácí stereosestavy, jelikož není potřeba speciálního plátna a je možné obraz prezentovat i na širokoúhlé televizi či PC monitoru. Blokové schéma je znázorněno na [obrázku 11](#) (*Blokové schéma aktivní stereoskopické projekce*).



Obrázek 11: Blokové schéma aktivní stereoskopické projekce.

## 4.2 3D polarizační modulátor

Kombinaci výše diskutovaných metod - pasivní a aktivní stereoskopické projekce je unikátní systém 3D polarizačního modulátoru. Je zde využit jeden aktivní 3D projektor (Digital Christie, DepthQ HD aj.), kde je před jeho objektivem umístěn polarizační modulátor, jež je elektronicky propojen s projektorem. Tento polarizační modulátor je kombinací dvou prvků z tekutých krystalů umístěných na sobě, oba dosahují vysokého polarizačního efektu. Při přiložení napětí se změní polarizace filtru na horizontální stav. Bez přiloženého napětí odpovídá stav vertikální polarizaci filtru, dochází tedy k prezentaci obrazů pro pravé a levé oko pozorovatele zvlášť. Výhodou je možnost použití levných pasivních polarizačních brýlí a potřeby pouze jednoho projektoru. Synchronizační frekvence mezi 3D polarizačním modulátorem a projektorem se pohybuje v rozmezí 120–400Hz. Zapojení a funkce je znázorněna na [obrázku 12](#) (*3D polarizační modulátor*).



Obrázek 12: 3D polarizační modulátor [21].

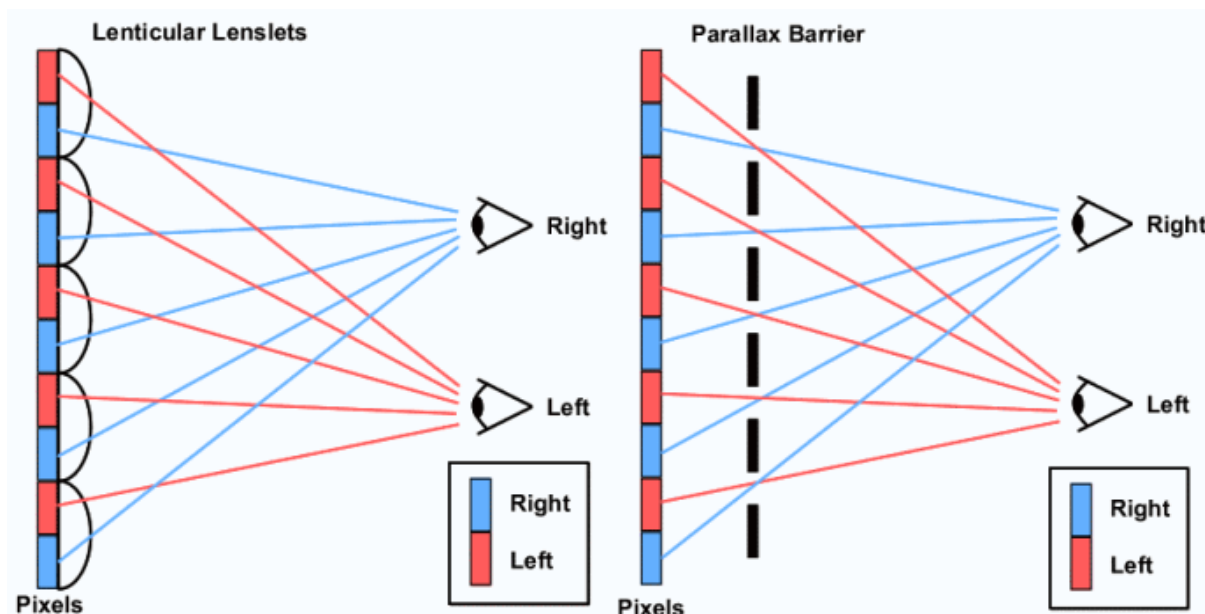
### 4.3 Brýle z tekutých krystalů

Anglicky často označované „LC shutter glasses“. Zde je také využito dvojnásobné snímkové frekvence vysílaného obrazu, kdy je pro pravé oko určený každý lichý obraz a pro levé, každý sudý obraz. Synchronizace zatmívání jednotlivých očí s projekcí obrázků, je zajištěna pomocí infračerveného záření, radiofrekvenčně, bluetooth či DLD-Link. Brýle využívají tekutých krystalů s kombinací polarizačního filtru. Při přiložení napětí se příslušné brýlové sklo stane z průhledného tmavé. Momentálně je nevýhodou nemožnost použití s CRT monitory, avšak na trh se již dostávají převážně flat-panel monitory podporující vysokou obnovovací frekvenci obrazu. Samotné brýle jsou slabě tmavé, uživatel má pocit sledování monitoru se slunečními brýlemi. Výhodou této metody je nejefektivnější potlačení dvojitého zobrazení předmětů, jevu označovaného jako „crosstalk“ a „ghosting“.

### 4.4 Autostereoskopický monitor

Tato metoda jako jediná nevyužívá brýle pro dosažení výsledného efektu vnímání hloubky promítané scény. Využívá speciální masky - fólie umístěné před používaný flat panel. Jako masku používáme buď lenticulární čočku, případně paralaxní bariéru, ta přeměňuje svislé pixelové sloupce jiným směrem, kdy přesměrovává vždy jinak sudý a lichý

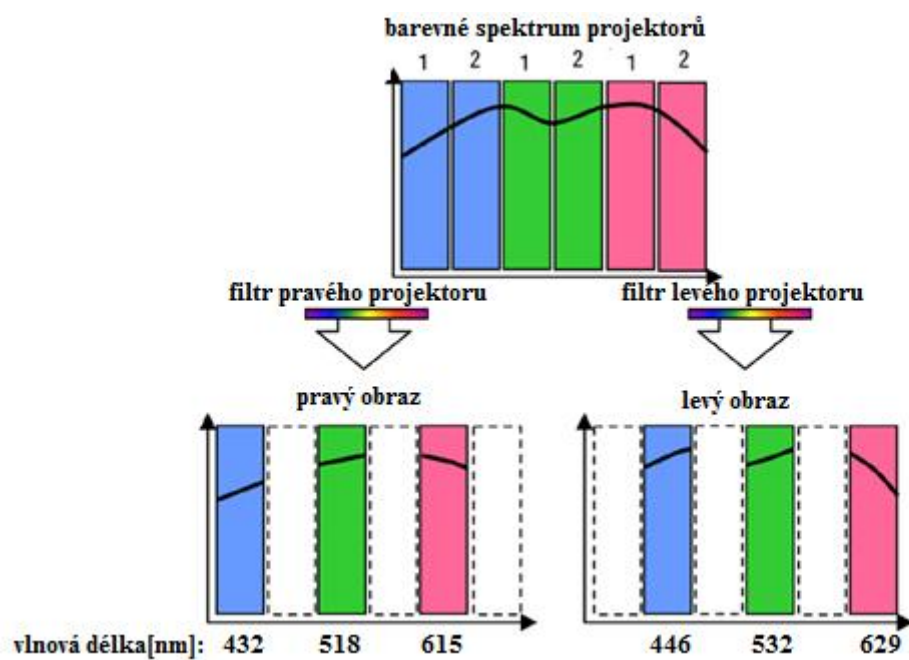
sloupec pixelů, tedy obraz pro pravé a levé oko - *obrázek 13* (*Autostereoskopický monitor s lenticulární čočkou a paralaxní barierou*). Divák je schopen vnímat prostorový efekt pouze, nachází-li se jeho oči v předem dané pozici nazývané často „sweet spot“. Některé systémy poskytují možnost sledování pozice hlavy pozorovatele a tím upravování pozice masky pro dosažení prostorového efektu projekce z aktuální pozice. Tato metoda zachovává plnokrevný obraz, není však vhodná pro vyšší počet uživatelů v jeden moment.



Obrázek 13: Autostereoskopický monitor s lenticulární čočkou a paralaxní barierou [22].

## 4.5 Systém INFITEC

Systém INFITEC vyvinula v roce 2003 Německá firma specializující se na prostorovou projekci. Využívá speciálních interferenčních filtrů. Obraz je vytvořen pomocí dvou projektorů, které mají před objektivem každý svůj speciální INFITEC filtr, tyto filtry jsou specifické tím, že základní barvy mají posunutou svou vlnovou délku, jak je znázorněno na *obrázku 14* (*Filtry INFITEC*). Pro sledování výsledné scény pak používáme brýle s příslušnými INFITEC filtry, pravé a levé oko tak dostávají každé svůj vlastní obraz.



Obrázek 14: Filtry INFITEC [23].

## 5 ANAGLYF

V této části se seznámíme blíže s pojmem slova anaglyf a jeho vlastním principem, na kterém je založen, jeho výrobou a jeho prezentací. Anaglyf můžeme v Novém akademickém slovníku cizích slov, vydaným nakladatelstvím Academia v roce 2005, nalézt jako definici: „*Dvojbarevný soutisk dvou stereoskopických obrázků, který při pozorování brýlemi se skly v doplňkových barvách poskytuje prostorový vjem.*“ [14].

### 5.1 Historie vzniku anaglyfů

Výroba anaglyfů je založena na principu objeveném v roce 1853 W. Rollmanem, ten tento jev jako první dokumentoval a sestavil první úlohy. Využil jevu doplňkových barev, kdy použil modro červených brýlí k pozorování obrazců vytvořených identickými barvami na černém podkladě.

Dalším přelomem byl rok 1958, kdy Joseph D'Almeida promítal své anaglyfy za použití červeného a zeleného filtru umístěných před projekčním zařízením. V období 60 let 19. století došlo k největšímu rozšíření anaglyfu, kdy se do povědomí veřejnosti dostal jako forma humorných obrázků.

Roku 1891 patentoval Francouzský badatel Louis Arthur Ducos du Hauron princip anaglyfických brýlí. Byl to ten samý muž, který položil základy barevné fotografie, kdy tento princip nechal patentovat již v roce 1868. Anaglyfy dokázal jako první pořizovat fotograficky a tyto výsledky pomocí anaglyfických brýlí prezentovat.

### 5.2 Barevné modely

Jelikož v roce 1853 W. Rollman popsal, že anaglyf je založen na principu použití doplňkových barev, je nutné seznámit se s doplňkovými barvami a jejich použitím ve výpočetní a zobrazovací technice.

Barevné modely jsou odvozeny z principu vnímání světla lidským okem, o kterém bylo pojednáváno v kapitole 2.1.2 (*Přeměna světla na evokované potenciály*) v části *sítnice (retina)*. Barevné modely jsou tedy modelováním vnímání světla lidským okem, kdy skládáme základní barvy spektra a tím vytváříme různé odstíny barev. Princip skládání barev je základní kamenem pro vytváření anaglyfů.

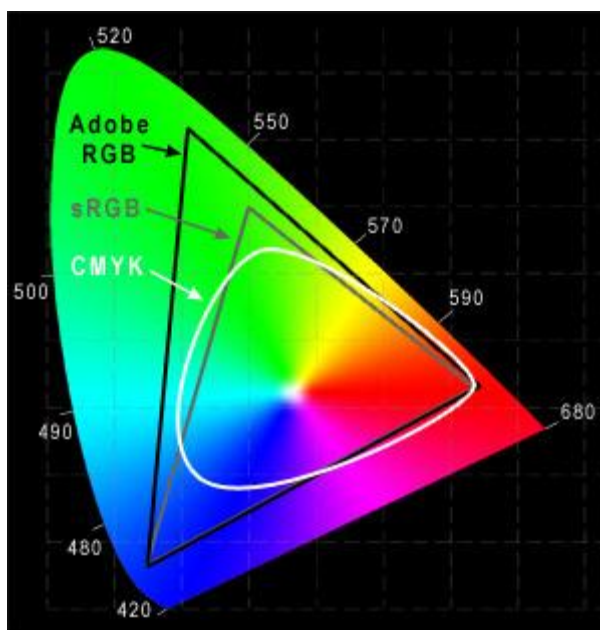
### 5.2.1 Typy barevných modelů

Dnes se v různých aplikacích a technických zpracování používají různé barevné modely. V *tabulce 1* (Barevné modely) jsou uvedeny ty, s kterými se nejvíce setkáváme, a dále jsou podrobněji popsány barevné modely základní. Každý barevný model je definován v barevném gamutu lidského vidění – soubor všech barev zakreslených do roviny pomocí její sytosti a druhu barvy (saturation and hue).

Název barevného modelu	Použití
(s/Adobe)RGB	Televize, digitální fotoaparáty, ukládání obrázků, aj.
CMYK	Tisk
YCbCr	Formát obrázku JPEG
HSV	Editace snímků
HSB	
L*A*B	

Tabulka 1: Barevné modely.

Každý trojúhelník barevného modelu má svůj vrchol v jedné ze základních barev, z kterých jsou skládány barvy ostatní. Tyto barvy se nacházejí uvnitř daného trojúhelníku. I když trojúhelníky pokrývají jen nepatrnou část gamutu lidského vidění, pestrost barevné prezentace je absolutně postačující pro dokonalé vnímání všech odstínů. Důležitým pojmem v teorii barev je barva doplňková. Doplnková barva je taková, která chybí barvě do šedé či bílé. Protneme-li tedy bílým bodem v barevném gamutu přímku, na protějších stěnách trojúhelníků dostaneme dvojici doplňkových barev [15], [26].



Obrázek 15: Barevný gamut vidění s jednotlivými barevnými modely [26].



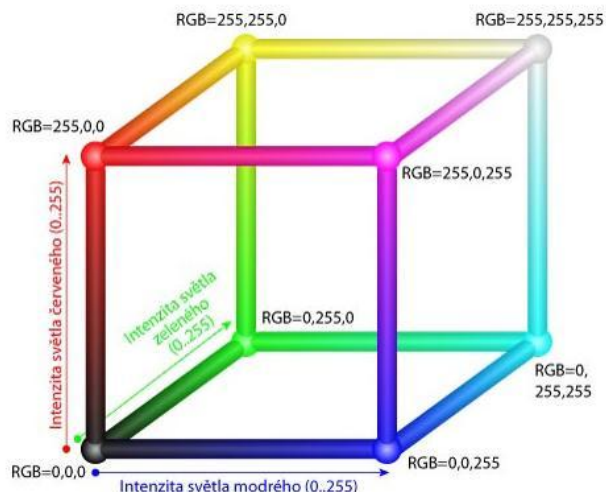
### 5.2.2 Barevný model RGB

RGB model je modelem aditivním. Barvy tedy vznikají míšením červené, zelené a modré na černém podkladu. Nejtmavší barva je rovna barvě podkladu a barva bílá vznikne rovnoměrným složením všech tří barev. Pro znázornění vzniku jednotlivých barev je použit *obrázek 16* (*Barevný model RGB*). Jde o jednotkovou kostku, v které jsou velikosti stran převedeny do symboliky jednoho z existujících standardů uvedených v *tabulce 2*.

Systém	RGB triplet
Aritmetický	(1.0;1.0;1.0)
Procentní	(100;100;100)
8bitový	(255;255;255)
24bitový	(65535;65535;65535)

Tabulka 2: Standardy pro vyjádření barevné mohutnosti.

Každý roh kostky je definován třemi čísly. První číslo je hodnota intenzity barvy red - červené, druhé green - zelené a třetí blue - modré. Tato teorie nám umožňuje definovat každou existující barvu danými třemi čísly, mluvíme o mohutnosti barvy. Na úhlopříčce krychle ve směru černá - bílá, nacházíme na jednom konci barvu podkladu (černou) s nulovými hodnotami všech barevných složek a na opačném konci přes odstíny šedé stav vzájemné maximální intenzity všech tří barev - barva bílá.



Obrázek 16: Barevný model RGB [24].

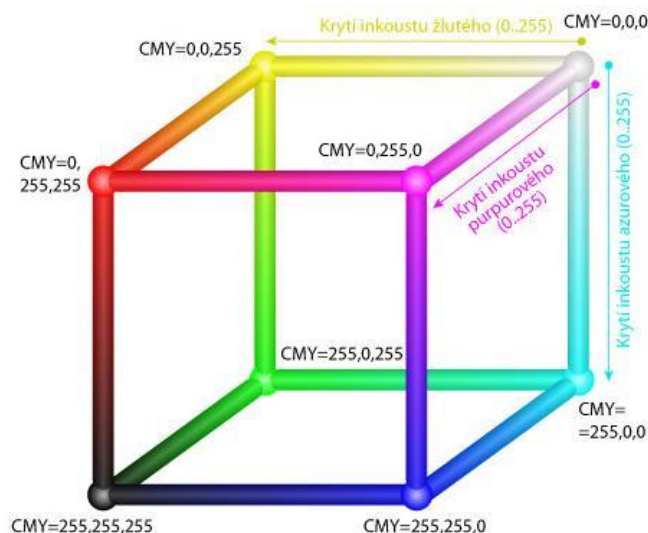
Základním problémem při vytváření RGB modelů je přesná definice jednotlivých odstínů barev. Dnes existuje více těchto modelů stanovených jednotlivými výrobci a jejich specifikaci určuje symbol či soubor symbolů před základním označením RGB. Asi jako nejpoužívanější můžeme definovat model sRGB. Tento model vznikl pro potřebu Windows, používá se v internetových aplikacích a běžném softwarovém vybavení. Odpovídá nejvíce technickým možnostem většiny provozovaných monitorů a jiných zobrazovacích prostředků.

Výjimkou by zde byly speciální monitory používané především v lékařském prostředí, které umožňují zobrazit mnohem větší spektrum barev potřebné pro správnou diagnostiku. Dalším standardně využívaným modelem je AdobeRGB vytvořený v roce 1998 firmou Adobe. Zde se používá většího rozsahu především v oblasti zelené barvy. To je odvozeno ze základu vnímání barev lidským okem, které je nejvíce citlivé právě na zelenou barvu a dokáže rozpoznat nejvyšší paletu odstínů zelené.

### 5.2.3 Barevný model CMY(K)

Barevný model CMY vznikl odvozením od modelu RGB, kdy je oproti tomuto modelu metodou subtraktivní. Jak bylo uvedeno, u RGB modelu přidáváme na černý podklad tři základní barvy a tím vzniká celková barevná škála dle závislosti na mohutnosti jednotlivých základních barev. Tato metoda je založena na principu přidávání jednotlivých barev na bílý podklad. Princip je založen na odrazu celého barevného spektra od bílé plochy na rozdíl od pohlcení světla barvou černou - kapitola 2.2 (*Světlo jako elektromagnetická vlna*). Základní plocha je tedy bílá a přidáváním barev azurové - cyan, purpurové - magenta a žluté - yellow vzniká celková barevná škála. Metoda je základem tisku, kdy výrobci používají i barvu černou (především z ekonomického hlediska a hlediska jednodušší technologické řešitelnosti textu) a přidávají i další odstíny barev pro dosažení vyšší věrohodnosti tisku fotografií a zlepšení technologie provedení tisku.

CMY barvy popisujeme jako inverzní k barvám RGB, celý model tedy můžeme popsat inverzně popsanou barevnou krychlí *obrázek 17* (*Barevný model CMY*).



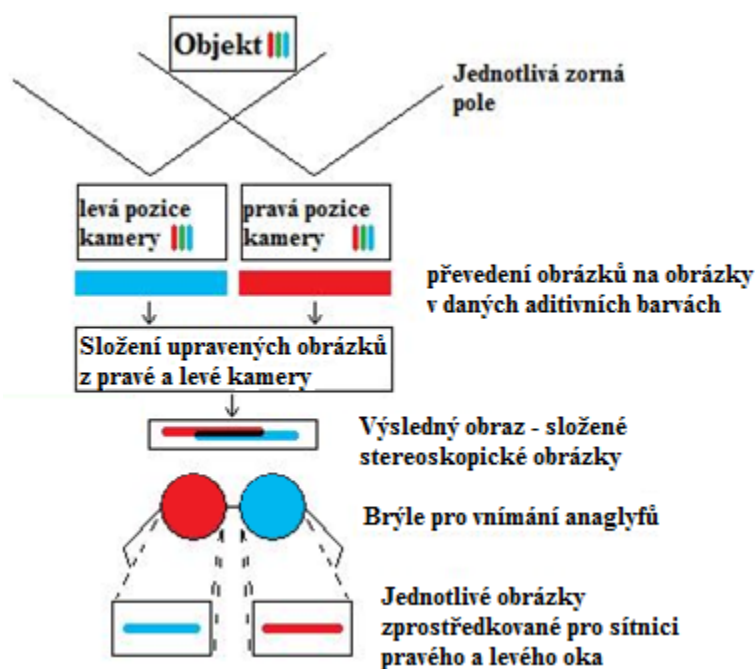
Obrázek 17: Barevný model CMY [24].

Model CMY je inverzním modelem doplňkových barev k barvám v modelu RGB. Azurová (cyan) barva je doplňková barva k červené (red), purpurová (magenta) k zelené

(green) a žlutá (yellow) k modré (blue). To, že je barva doplňková znamená, že bude odrážet všechny barvy spektra kromě barvy, ke které je inverzní a kterou zcela pohltí.

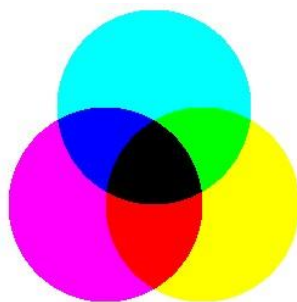
### 5.3 Sestrojení anaglyfu

Z doposud rozebraných teoretických znalostí můžeme stanovit základní předpoklady pro pořízení anaglyfu. Pro názornost posloupnosti získání anaglyfu je uvedeno blokové schéma na [obrázku 18](#) (*Blokové schéma sestrojení anaglyfu*).



Obrázek 18: Blokové schéma sestrojení anaglyfu.

Jako první je předmět, který je snímán dvojicí kamer posunutých o hodnotu stereobáze. Vzniknou tak dva stereoskopické obrazy pořízené z rozdílných úhlů, které představují pohled pravým a levým okem. Tyto obrazy jsou každý zvlášť zpracovány převedením do odpovídajícího barevného spektra. Barvy námi zvolené musí být komplementární dvojicí a musí odpovídat barevným filtrům použitým v brýlích pro pozorování anaglyfů. Pro pozorování anaglyfů jsou používány kombinace barev červená - zelená, červená - modrá, žlutá - zelená a červená - azurová. Jako nejlepší kombinace barev se evidentně prokazuje červená - azurová. Tato kombinace je odvozená z barevných modelů, jež byly rozebrány v [kapitole 5.2](#) (*Barevné modely*). Pokud dodržujeme popsané principy, můžeme simulovat u anaglyfu velmi široké barevné spektrum. Na [obrázku 19](#) je pro názornost zobrazeno skládání barev CMY.



Obrázek 19: Skládání barev CMY [24].

Následně z kamery umístěné na levé straně získáme obrázek v azurové barvě a z pravé kamery obrázek v červené barvě, oba s různou mohutností jim příslušných barev. Tyto obrázky jsou následně pomocí programu složeny v jeden. Části, které jsou v obrázcích shodné a překrývají se, jsou tmavé dle příslušné mohutnosti jednotlivých barev v daném bodu. Části, které se nepřekrývají, jsou pak podle svého původu z pravé kamery azurové a z levé kamery červené. Při výrobě a následně při pozorování anaglyfu je nutné, abychom zachovali po celou dobu procesu stejný barevný filtr na příslušné straně. Levým okem, před kterým máme právě červený filtr, nevnímáme červené objekty, nýbrž fotografii převedenou do dané doplňkové barvy - azurové (znázorněno na [obrázku 18](#)). Pravým okem, před kterým je umístěn filtr azurový, pak vnímáme fotografii převedenou právě do červených odstínů barev.

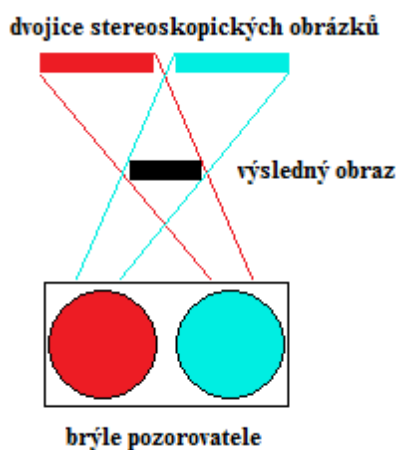
Zjednodušeně můžeme říci, že jsme spojili do jedné fotografie dva stereoobrazy, jež jsou odděleny svými základními barvami (červenou a azurovou), do kterých byly obrazy převedeny. Pozorováním příslušnými brýlemi pak získává každé oko jemu určený separátní obraz, který je zpracován v mozku. Výsledkem je trojrozměrný obraz.

Podle toho, jestli se výsledný obraz zobrazí před nebo za zobrazovací rovinu, tedy teoretickým horoptrem (display, papír, projekční plátno), označujeme anaglyf jako:

- ortoskopický
- pseudoskopický.

### 5.3.1 Ortoskopický anaglyf

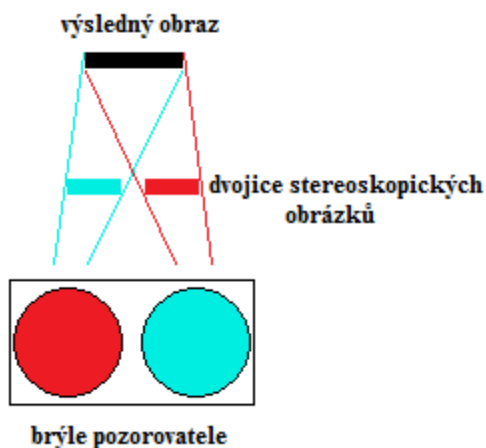
U ortoskopického anaglyfu vystupuje výsledný objekt před rovinu označovanou jako teoretický horopter, tedy blíže k pozorovateli. Pozorovaný objekt na stereoskopickém obraze pro levé oko je posunut doprava a pro oko pravé doleva, jak je naznačeno na [obrázku 20](#).



Obrázek 20: Ortoskopický anaglyf.

### 5.3.2 Pseudoskopický anaglyf

Oproti ortoskopickému anaglyfu poskytuje pseudoskopický anaglyf (*obrázek 21*) prezentaci stereoskopických obrázků v opačném pořadí - azurový nalevo a červený vpravo, výsledný objekt vnímáme za hranicí horopteru od pozorovatele. Předměty jsou vnímány jakoby v hloubce monitoru, projekčního plátna. U sestavených anaglyfů pomocí fotografií se oba tyto způsoby (ortoskopický i pseudoskopický anaglyf) často kombinují a objekty vystupují jak před, tak za teoretickým horopterem. Tedy z geometrického hlediska před a za nárysnou.



Obrázek 21: Pseudoskopický anaglyf.

## 5.4 Pozice kamery

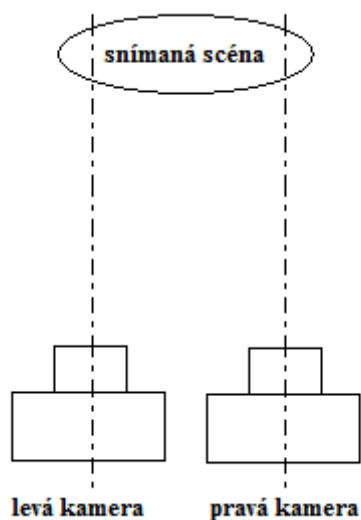
Pro získání dvojice stereobrázků máme dnes více možností. Jako nejjednodušší forma je posun jedné kamery po horizontále o definovanou vzdálenost. Základním předpokladem pro takovýto záznam scény je její neměnnost v čase, v kterém dochází k posunu kamery o definovanou vzdálenost. Tento způsob je v práci realizován pomocí fotoaparátu Canon Xsi (D450) s objektivem ES 17-40L a pojezdových sáněk Manfrotto.

Jiným, pragmatictější řešením, je dvojice kamer upevněných ve vhodném stativu na identické horizontále v jejich definované vzájemné vzdálenosti, kdy můžeme volit mezi paralelním vedením ohnisek objektivů do scény nebo jejich protnutí ve fokusovaném objektu. Výhodou tohoto řešení je možnost jak kontinuálního snímání scény v čase, tak možnost zachycení dynamiky vývoje dané scény. Tato varianta je realizována pomocí dvojice fotoaparátů Canon 450D a synchronní spouště RC1 a s dvojicí kamer Logitech C120, které se spouštějí přímo v navrženém programu ANAGLYPH v prostředí Matlab.

Preciznost uchycení kamer a jejich posun po horizontále je velmi důležitý z hlediska dosažených výsledků. Jedním z hlavních faktorů je eliminace rozdílné horizontály u pořízených stereoskopických fotografií. Námi požadovaný posun kamery, a tím osy objektivu směřující do scény je pouze po stejné horizontále. Pracujeme-li s dvěma kamerami, usilujeme, aby se osy objektivů šířili po identické horizontále ve stejný moment. Při nesplnění této podmínky ve výsledném anaglyfu budou identické body jednotlivých stereoskopických obrázků posunuty vertikálně (nechtěný efekt) a zároveň i horizontálně (žádaný efekt). To zcela vyruší výsledný prostorový dojem a dojde k nemožnosti zaostřit na pozorovaný objekt, únavě očí a bolestem hlavy. Hovoříme o vzniku **vertikální paralaxy**. Výsledný obraz je pak dvojitý, což je popisováno jako „crosstalk“ nebo „ghosting“ – pravé oko vidí část obrazu určeného pro levé oko a naopak.

### 5.4.1 Paralelní osy objektivů

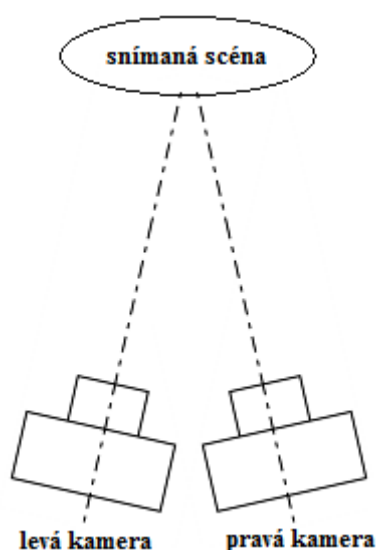
V tomto případě vedou osy objektivu paralelně vedle sebe ve vzájemné vzdálenosti definované jako stereobáze, její velikost odvozujeme z kapitoly 3.2, tedy  $\frac{1}{30}$  vzdálenosti snímáče fotoaparátu od horopteru fotografované scény. Paralelní vedení os je nejjednodušší a nejpoužívanější způsob pořizování anaglyfů. Velikost stereobáze určuje hodnotu horizontální paralaxy a tím výsledný prostorový vjem. Bod konvergence zde leží nekonečně daleko.



Obrázek 22: Paralelní vedení os objektivů.

### 5.4.2 Konvergující osy objektivů

Tento způsob je přesným napodobením lidského pohledu očí, jeví se tedy jako ideálním. Avšak lidské oči jsou velmi sofistikovaný systém a vytvoření anaglyfu tímto způsobem přináší mnoho úskalí. Především ve výsledné scéně se prostorový jev projevuje pouze ve fokusované centrální oblasti scény. Ostatní předměty, především excentricky položené v rozdílné hloubce, se budou jevit jako rozmazané. Při delším pozorování může docházet k bolesti hlavy. Je tedy nutné pečlivě volit kompozici pořizované fotografie. Jelikož senzory kamer sloužících k záznamu scény jsou na rozdíl od sítnice lidského oka rovné, vzniká s rostoucím úhlem, který svírají osy objektivů fotoaparátů, nežádoucí efekt horizontální paralaxy právě u excentricky uložených předmětů. Technika konvergujících os je vhodná pro záznam výrazného objektu zájmu na homogenním prostředí s centrálním uložením ve scéně. Získáme tak velmi kvalitní prostorový vjem.



Obrázek 23: Konvergující osy objektivů.

### 5.4.3 Stereoskopické sánky pro posun jedné kamery

Tato hlava je výrobkem stejnojmenné firmy Manfrotto [obrázek 24](#) (*Sánky Manfrotto*). Jedná se o hliníkovou základnu opatřenou ocelovými šrouby k uchycení kamery. Pro zajištění kompatibility výrobce dodává dva typy šroubů a dva druhy závitu pro uchycení ke stativu. Hlava držáku je tedy uchytitelná do veškerých na trhu dostupných stativů, kdy použitím stativu zajišťujeme stabilitu kamery a tím kvalitní základ pro pořízení dobrého stereoskopického obrázku. S kamerou lze pohybovat po horizontální ose v rozmezí 0 – 120 mm, kdy stupnice je dělena po milimetrech. Je zde možnost jak skokové změny vzdálenosti, tak jemného posunu, který probíhá pomocí otáčení posuvného šroubu. Pomocí hřídele se závity se pak posouvá celá základna s kamerou. Tímto způsobem je možné pořizovat makro snímky, k jejichž výrobě jsou sánky původně předurčeny. Vhodné rozmezí vzdálenosti, kdy pořizujeme pravý a levý snímek pak určujeme dle teorie z [kapitoly 3.2](#) (*Stereoskopická paralaxa*). Posun kamery z pravé do levé pozice by měl být  $\frac{1}{30}$  vzdálenosti fotografovaného předmětu. Nevýhodou použití jedné kamery je nutnost neměnnosti scény v čase použitím pro posun kamery do místa, z kterého je pořízena druhá fotografie.

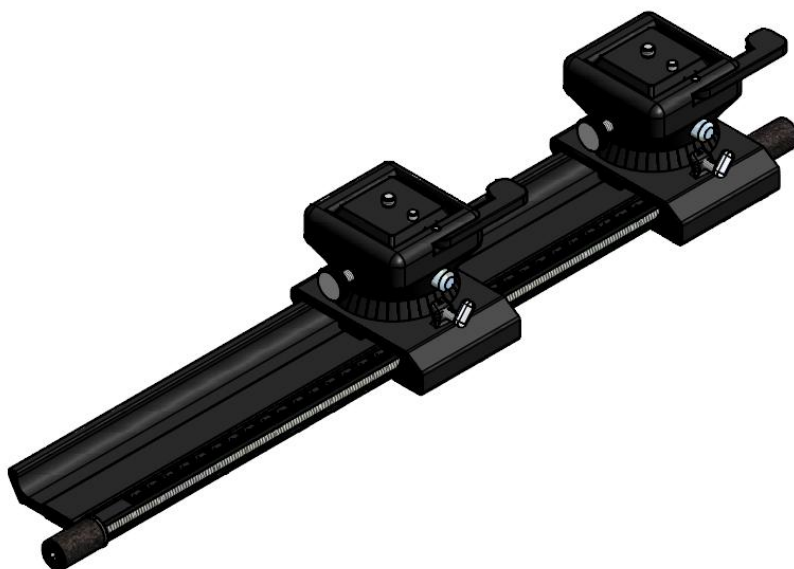




Obrázek 24: Sánky Manfrotto.

#### 5.4.4 Stereoskopické sánky pro dvě kamery

Abychom mohli zachytit časově se vyvíjející scénu a ze stereoskopických obrázků sestavit kvalitní anaglyf, je třeba pořídit oba snímky v jeden okamžik. Touto problematikou se budeme dále zabývat a snažit se upřesnit podmínky, které můžeme označit jako nejvhodnější pro zachycení scény o určité hloubce. Z doposud rozebraných teoretických znalostí binokulárního vidění je navržena hlava pro uchycení dvou kamer. Je zde možnost měnit vzdálenost mezi fotoaparáty v rozmezí 40mm až 390mm. Tato vzdálenost je dána typem použité kamery - rozměry popsány v kapitole 5.5 (*Použitý fotoaparát*). Kromě posunu po horizontální ose s paralelním zaměřením ohnisek do snímané scény, hlava umožňuje změnit úhel vychýlení ohniskových os objektivů, aby došlo k jejich protnutí ve fokusovaném předmětu. Tím budeme plně simulovat pohled očima rozebraný v kapitole 3 (*Prostorové - binokulární vidění*). Naskytne se zde však problém s přesným protnutím os ohnisek objektivů v jednom bodě, který chceme fixovat, v případě techniky konvergujících os objektivů. Tento problém je vyřešen uchycením laserových ukazovátek, těmi označíme bod ve scéně, na který budou zaměřeny optické osy obou fotoaparátů. Popsaný systém nám umožní jako jediný simulaci lidského pohledu. Celý systém je na obrázku 25 (*Uchycení pro dvě kamery*).



Obrázek 25: Stereoskopické sánky pro dvě kamery.

## 5.5 Použitý fotoaparát

V dnešní době máme na výběr z nepřeberného množství na trhu dostupných fotoaparátů od jednoduchých digitálních automatů po zrcadlové digitální fotoaparáty s možností nastavení veškerých parametrů.

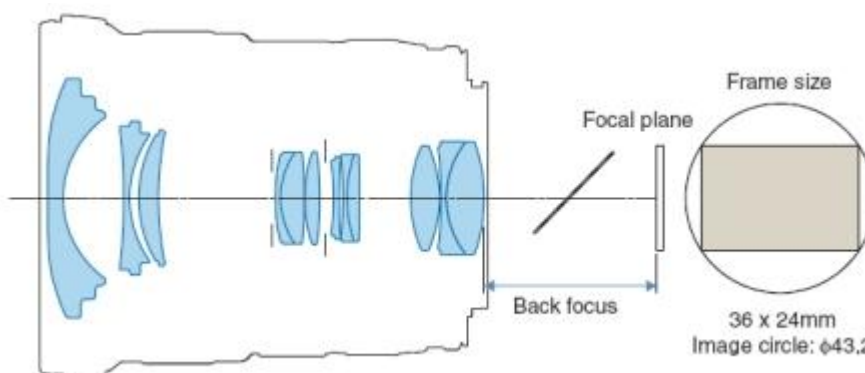
Pro pořizování stereoskopických fotek jsem používal kameru třídy DSLR, Canon Rebel XSi (450D), která nám umožňuje jak nastavení tak záznam všech parametrů pořízených fotografií. Výhodou je zde i možnost definování rozložení optické soustavy objektivu a tím definování hloubky ostroty a zorných úhlů. Fotoaparát umožňuje kromě jiných parametrů pro nás důležité nastavení snímání v barevném režimu sRGB a AdobeRGB.

Fotoaparát disponuje snímačem typu CMOS s rozměry 22.2x14.8mm (crop factor 1,6) s hustotou pixelů 3.1MP/cm<sup>2</sup>, nejvyšší dosažitelné rozlišení je pak 4272 x 2848pixelů. Citlivost snímače (ISO) je 100, 200, 400, 800, 1600. Dosahovaná rychlost snímání je 3 snímky za sekundu. Nastavitelnost času uzávěrky je regulovatelná od 1/4000s po 30s. Typ formátu, v kterém se fotografie ukládají je JPEG, RAW či případná kombinace. Hmotnost fotoaparátu je 556g s rozměry 127 x 94 x 65 mm [25].

### 5.5.1 Objektiv fotoaparátu

Používaný objektiv je CANON EF 17-40 mm f/4L USM spadá do kategorie ultra-širokoúhlý. U ohniskové vzdálenosti 17mm je zorný úhel 103° 41' a při ohniskové vzdálenosti

40mm 56° 49'. Dalším důležitým hlediskem je zde světelnost objektivu f/4 nebo-li velikost clony. Tato světelnost udává kolik světla objektivem projde a dopadne na snímač, čím menší číslo tím dochází k většímu otevření clony a tím k dopadu většího množství světla. Na [obrázku 26](#) je uvedeno uspořádání čoček v objektivu. Objektiv ostří již od vzdáleností 280mm, jak s možností automatického ostření pomocí USM, tak ostření manuálního. Systém Canon EMD (elektromagnetické ovládání clony) poskytuje díky kruhovému otvoru clony při menším zaclonění jemnější tonální přechody, a tím i příznivější vzhled neostrých míst obrazu. Druhá clona v konstrukci objektivu se stará o další redukci závoje a celkově vyšší kontrast snímků. Objektiv díky pryžovému těsnění odolává prachu a vlhkosti.



Obrázek 26: Uspořádání čoček [25].

### 5.5.2 Současné řízení fotoaparátů

Většina fotoaparátů disponuje možností připojení externí spouště uzávěrky. Toto spouštění je zde především z důvodu pořizování fotografií s teleobjektivy, kdy uchopením fotoaparátu a stisknutím tlačítka spouště vyvoláme nepatrný pohyb fotoaparátu a tím způsobíme rozmazání snímku. U DSLR fotoaparátu může k tomuto jevu dojít i sklopením zrcátka uvnitř těla, pro tento případ je implementována funkce předsklopení zrcátka, jež eliminuje jakýkoli pohyb fotoaparátu. Zavedení externího spouštění s vhodnou synchronizací nám umožňuje ovládání dvou fotoaparátů v jeden okamžik. Tím docílíme pořízení dvou stereofotografií v identickém čase. Mnohem elegantnější řešení pro řízení dvou fotoaparátů přináší možnost ovládání pomocí infračerveného paprsku příslušného dálkového ovladače. Tím se stal v našem případě ovladač RC1 společnosti Canon. Udávaný dosah ovládání je až 5m. Ovladač disponuje režimem okamžitého sepnutí spouště nebo sepnutí se zpožděním 2s.

## 5.6 Hloubka ostrosti ve fotografii

Zorný úhel  $140^\circ$  ve vodorovné rovině,  $50^\circ$  ve svislé s nejvyššími dosahovanými hodnotami pro bílou, následovanou žlutou, modrou, červenou a s nejmenšími hodnotami pro zelenou barvu. Konvergující osy, hloubka ostrosti vytvořená pamětí a rychlostí přeostrění, dokonale přizpůsobující se systém změnám nejen světelných podmínek, nemluvě o zpracování a vyhodnocení – to je lidské oko. Můžeme těchto aspektů dosáhnout i s fotoaparátem? V oku je největší hustota tyčinek a čípků, jak již bylo zmíněno, v oblasti žluté skvrny. Fotoaparát disponuje stejnými vlastnostmi na celé ploše svého snímáče. Při správném nastavení clony, doby expozice, citlivosti snímáče, použití širokoúhlého objektivu, využití znalostí hodnot hyperfokální tabulky použitého objektivu (využití co největší hloubky ostrosti) a vhodné kompozice snímku můžeme získat vysoce kvalitní fotografie, které budou sloužit jako vhodný základ pro výrobu anaglyfů [4].

Dle fyzikálních poznatků z optiky můžeme říci, že je možné zaostřit pouze na jedno místo v pozorované scéně, předměty nacházející se před a za tímto bodem jsou rozostřené. Jejich neostrost je však tak malá, že ji nejsme schopni identifikovat. Toto pole nazýváme hloubkou ostrosti. Velikost pole hloubky ostrosti ovlivňujeme zvolením vhodné kombinace především tří parametrů - clony, ohniskové vzdálenosti a citlivosti.

### 5.6.1 Clona

Clonu můžeme definovat jako svůj průměr měnící kruhový otvor tvořený 5 až 7 planžetami, které regulují průměr svazku dopadajícího světla na CMOS nebo CCD snímáč, kdy s kombinací doby osvětlení snímáče (doby expozice-jednotky času) nastavujeme expozici (množství světla dopadajícího na snímáč) fotografie. Velikost clony udáváme pomocí clonového čísla, které je poměrem ohniskové vzdálenosti a průměrem otvoru clony. Vyplyvá tedy, že s rostoucím průměrem otvoru clony klesá clonové číslo. U objektivů se používá ve tvaru zlomku  $\frac{\text{ohnisková vzdálenost}}{\text{clonové číslo}}$ , jelikož s měnící se hodnotou ohniska a stále stejným průměrem otvoru vytvořeného clonou se mění množství světla dopadajícího na senzor za jednotku času. Světelnost námi použitého objektivu je  $f/4$ , což znamená, že největší průměr clony je roven:

$$\frac{\text{ohnisková vzdálenost (40mm)}}{\text{clonové číslo (4)}} = \text{maximální průměr otevřené clony (10mm)}.$$

Pomocí vyššího clonového čísla, tím pádem menšího průměru vytvořeného otvoru, zvyšujeme hodnotu hloubkové ostrosti, kdy předměty blízké i vzdálené jsou ostré. K těmto účelům výrobce poskytuje tzv. hyperfokální tabulku (*Tabulka 3*). Zde jsou uvedeny nejvhodnější vzdálenosti zaostření v závislosti na nastavené cloně a ohniskové vzdálenosti. Jak je z *tabulky 3* patrné, při nastavené cloně 4 a ohniskové vzdálenosti 17mm je optimální vzdálenost zaostření 2,41m. Od poloviny této vzdálenosti (1,205m) do nekonečna se pak nachází maximální hloubka ostrosti.

mm/clona	1.0	1.4	2.0	2.8	4.0	5.6	8	11	16	22
14	6.53	4.67	3.27	2.33	1.63	1.17	0.82	0.59	0.41	0.30
17	9.63	6.88	4.82	3.44	2.41	1.72	1.20	0.88	0.60	0.44
20	13.33	9.52	6.67	4.76	3.33	2.38	1.67	1.21	0.83	0.61
24	19.20	13.71	9.60	6.86	4.80	3.43	2.40	1.75	1.20	0.87
28	26.13	18.67	13.07	9.33	6.53	4.67	3.27	2.38	1.63	1.19
35	40.83	29.17	20.42	14.58	10.21	7.29	5.10	3.71	2.55	1.86
50	83.33	59.52	41.67	29.76	20.83	14.88	10.42	7.58	5.21	3.79
70	163.33	116.67	81.67	58.33	40.83	29.17	20.42	14.85	10.21	7.42
105	367.50	262.50	183.75	131.25	91.88	65.63	45.94	33.41	22.97	16.70
135	607.50	433.93	303.75	216.96	151.88	108.48	75.94	55.23	37.97	27.61
200	1333.33	952.38	666.67	476.19	333.33	238.10	166.67	121.21	83.33	60.61
300	3000.00	2142.86	1500.00	1071.43	750.00	535.71	375.00	272.73	187.50	136.36

Tabulka 3: Hyperfokální tabulka [m], [27].

### 5.6.2 Citlivost

Citlivost je dalším parametrem souvisejícím s výslednou expozicí fotografie a má tedy i významný vliv na dosaženou hloubku ostrosti. U fotoaparátu ji nalézáme jako hodnotu ISO (vycházející z normy ISO 5800 a jednotek ASA), kdy nejčastější rozsah je v hodnotách 100 až 12800, kdy hodnota ISO stoupá jako hodnota vynásobena dvěma. Dvojnásobná citlivost pak snižuje dobu potřebnou pro otevření clony na polovinu s dosažením stejného výsledku. Tohoto jevu využíváme v praxi buď právě ke snížení expozičního času, při stejném množství zaznamenaného světla, případně pro nás diskutovaného zvýšení clonového čísla o jedno a tím adekvátní zvýšení i hloubky ostrosti. S rostoucí hodnotou ISO dochází ke zvyšování hodnoty „elektronického“ šumu (zkreslení informace o intenzitě dopadajícího světla), jež je dán kvalitou a rozměry použitého CMOS čipu.

### 5.6.3 Expozice fotografie

Expozice je udávána jako hodnota EV (exposure value) a popisuje vlastní proces i množství světla dopadajícího na senzor. Je ovlivněna citlivostí ISO, velikostí clonového čísla a dobou otevření závěrky fotoaparátu. K zjištění správné hodnoty můžeme využít expozimetru a následně vhodně kombinovat citlivost ISO a clonu, tím pádem hloubku ostrosti

nebo zachycení pohybu ve scéně. Nulová hodnota EV je definována při čase 1 s, clone  $\frac{f}{1}$ . 1 EV pak odpovídá polovině propuštěného světla.

## 5.7 Pozorovací vzdálenost

Vytvořené anaglyfy nejčastěji prezentujeme pomocí tisku nebo projekční techniky. Tou je v dnešní době nejčastěji LCD monitor nebo data projektor. Je nutností zvolit adekvátní pozorovací vzdálenost, vzhledem k úhlopříčce použitého zařízení. Z dříve uvedené teorie vyplývá, že jeden pixel obrazu by neměl být vnímán pod větším úhlem než  $1'$  [2], což je právě rozlišení lidského oka. Největší změny obrazu se projeví u projekce na plátno pomocí datového projektoru. Zde se velikost úhlopříčky pohybuje často od hodnoty dvou metrů výše. Pozorovací vzdálenost pak musí být adekvátní hodnotě rozlišení snímků. S klesajícím rozlišením se hranice ideální vzdálenosti pozorovatele od projekční plochy zvyšuje. Ideální paralaxa dvou identických bodů pravého a levého stereoskopického obrazu by se měla pohybovat v oblasti hodnoty paralaxy  $1,5^\circ$  kdy nedochází k nepřiměřenému namáhání očí.

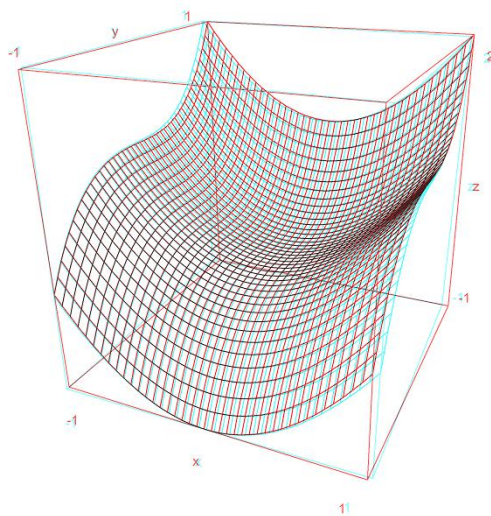
S rostoucí vzdáleností se zvětšuje prostorový dojem z prezentovaného anaglyfu – obraz se jeví hlubší. Zmenší se tu vynaložené úsilí akomodace a konvergence očí k pozorování obrázku na velkém projekčním plátně. Obrázky se s rostoucí vzdáleností mohou zdát širší, případně vyšší, pro diváky nacházející se blízko projekčnímu plátnu, se pak efekt může zdát nedostatečný a divákům velmi vzdáleným naopak přehnaný, v obou případech nereálný.

## 5.8 Oblasti využití

Ekonomické hledisko, dostupnost a jednoduchost stále posunuje anaglyf do pozice před ostatními metodami uvedenými v kapitole 4. Brýle v papírovém provedení s plastovými filtry v doplňkových barvách se dají sehnat v řádu dvou desítek korun, často se i stávají přílohou časopisů s nejrůznější tematikou zasahující všechny věkové skupiny. Nemalou roli zde hraje i technika, kdy počítač, internet, digitální fotoaparát, jsou běžně používanou a dostupnou věcí. Tvorba a fascinující prezentace trojrozměrné fotografie, či filmu, má své nepopsatelné kouzlo a výhody. To vše je důvodem jejího využití v nejrůznějších oborech.

Jedním z případů využití anaglyfů jsou výukové materiály deskriptivní geometrie pro zjednodušení představení jednotlivých prostorových útvarů a jejich popis (obrázek 27). Často jsou také využívány v chemii pro prezentaci jednotlivých molekul či sloučenin, kdy převážně u velmi složitých řetězců je velmi složité tyto řetězce prezentovat za pomoci dvourozměrného obrázku bez použití dalšího geometrického popisu. K těmto účelům je vytvořen speciální software, jímž jsou anaglyfy sloučenin vytvářeny [12].





Obrázek 27: Síťový graf jako anaglyf [28].

Stereoskopického zobrazení využívá také aplikace Google Street View, kdy od 1. dubna 2010 dochází k přechodu z dvojrozměrných obrázků k obrázkům ve formě anaglyfů. K tomuto účelu slouží snímací kamera Google 3rd generation streetview camera a k dispozici už je i Google's 4th generation streetview camera využívající vysoké rozlišení.

Ve zdravotnictví je použití anaglyfu jedním z možností vyšetření schopnosti binokulárního vidění. Jsou zde prezentovány obrázky s různou tematikou a pacient následně popisují, co vidí. Jedním z obrázků může být pavučina s motýly a mouchami, pacient má za úkol popsát, kdo z nich se pak nachází před pavučinou a kdo z nich za pavučinou. Oproti jiným metodám má tato výhodu atraktivity, zejména pro dětské pacienty a získání jejich tolik potřebné spolupráce.

Nejrozšířenější oblastí využití anaglyfů je oblast mediální zábavy, anaglyfy se stávají vhodným prostředkem k upoutání pozornosti v oblasti nejen reklamy. Již v roce 1950 provedení komiksů s přiloženými brýlemi pro výsledný trojrozměrný dojem prezentovaný čtenářovi, poutaly nebývalou pozornost. V roce 2008 společnost Disney uvedla na trh první Blue-ray disc s příběhem prezentovaným metodou anaglyfu.

## 6 PROGRAM ANAGLYPH

Souběžně se s touto prací byl vyvinut program ANAGLYPH v prostředí MATLAB 2008b. Pro snadnou obsluhu je program implementován do grafického rozhraní GUI (graphical user interface). Program má jedinečnou možnost připojení externích kamer a jejich ovládání z programu. Kamery je třeba v programu definovat. Aktuálně je program koncipován pro použití s kamerami Logitech C120 a byl testován na počítači Acer Aspire 6920.

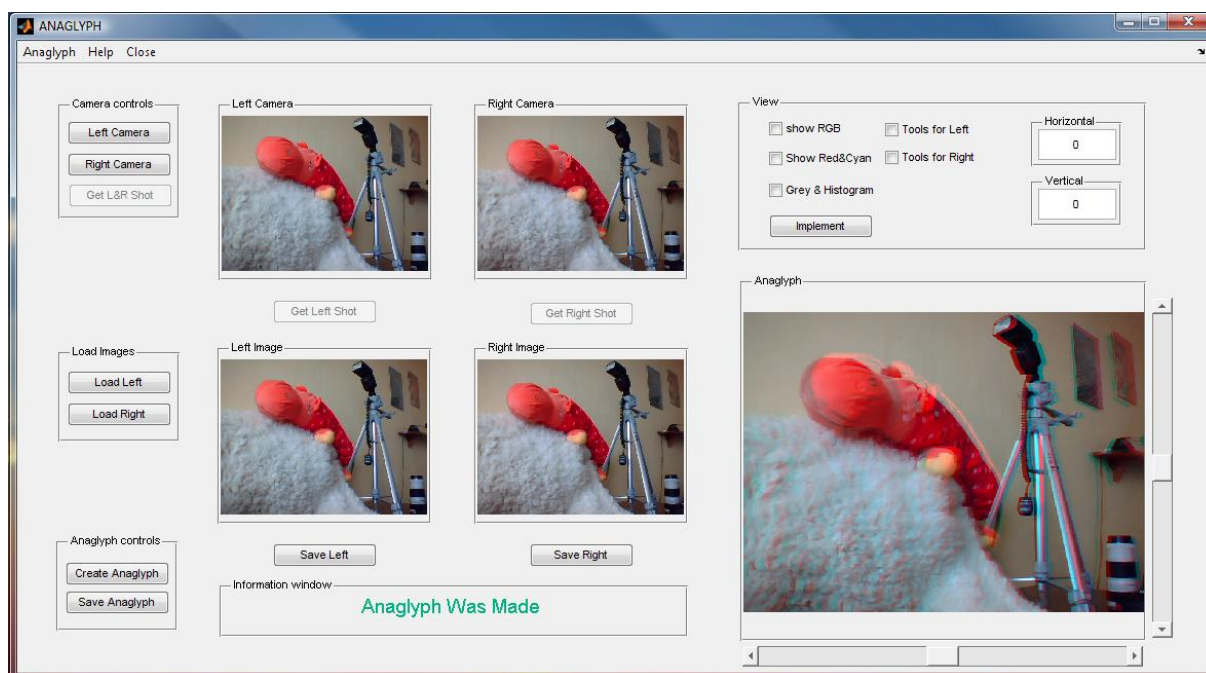
Po spuštění programu se zobrazí hlavní okno programu, které je koncipované pro intuitivní ovládání, čemuž napomáhají i postupně se vysvěčují tlačítka v logickém pořadí a návaznosti na nutnost provedení předchozí instrukce. Mimo jiné je zde možnost v hlavičce menu použít nápovědu *Help*, kde jsou popsány jednotlivé funkce tlačítek. V liště menu, poklepáním na záložku *Anaglyph*, získáme informace o programu kliknutím na záložkou *Close*, pak otevřeme dialogové okno s možností zavřít program či vrátit se zpět k práci.

Program ANAGLYPH poskytuje možnost načíst fotografie v režimu online, tedy pomocí připojené interaktivní levé a pravé kamery lze pak pořídit aktuální náhled scény, jeho zaznamenání a následné vytvoření anaglyfu. Není zde opomenuta možnost vytvořit anaglyf pomocí stereoskopických fotografií, které byly pořízeny již v minulosti jiným zařízením. Jak postupovat při práci s programem ANAGLYPH je věnován následující text.

### 6.1 Popis programu ANAGLYPH

Jak je vidět na *obrázku 28* (*Hlavní okno programu anaglyph*) v levé části programu najdeme kontrolní tlačítka pravé a levé kamery, tlačítka pro načtení, již dříve vytvořených nebo uložených obrázků, tlačítka pro vytvoření anaglyfu a jeho uložení. Ve středové části jsou pak čtyři náhledová okna, kdy vrchní dvě slouží pro zobrazení scény z pravé a levé kamery, okna pod nimi pak pro obrázky, které budou použity pro výrobu anaglyfu. V pravé části hlavního okna je pole se záškrtkovými políčky („checkboxs“), kde si můžeme navolit zobrazení dodatečných informací k pravému a levému obrázku a vytvořenému anaglyfu, jež budou zobrazeny v nových oknech. V okně pod tímto polem se zobrazí vytvořený anaglyf s možností jemného posunu stereoskopického obrazu po sobě. Akce, která se v programu provedla, případná chybová hlášení s návrhy jejich řešení se pro přehlednost zobrazují v informačním okně.





Obrázek 28: Hlavní okno programu ANAGLYPH.

## 6.2 Použití režimu online

Jak již bylo zmíněno, program nám poskytuje výjimečnou možnost připojení vizuální techniky pro zobrazení scény a její kontinuální prezentaci v reálném čase přímo v programu s následnou možností zpracování pořízených dat do výsledného anaglyfu. Rozhodneme-li se využít online režimu snímání, je nutné k počítači, na kterém je nainstalován program Matlab vyvinutý společností MathWorks, připojit dvě identické kamery, s kterými je systém schopný pracovat v režimu online a ty v programu následně definovat.

### 6.2.1 Kamery Logitec C120

Aby vytvořený anaglyf byl kvalitní, je potřeba zajistit co nejvyšší identitu vlastností snímků. Jako nejvýhodnější způsob se jeví použití totožných zařízení, kdy dosahujeme jednotnosti optiky, snímače a nastavení. V této práci byly použity komerčně dostupné kamery Labtec Logitec C120. Jejich připojení probíhá pomocí USB 2.0 a dosažené rozlišení je VGA 640x480 pixelů. Toto rozlišení bohužel neposkytuje možnost získání vysoce kvalitních anaglyfů, obzvláště za nedostatečného osvětlení snímané scény. Pokud má tedy uživatel možnost, doporučuji připojení vhodných kvalitnějších kamer, kterých je dnes na trhu nespočet. Můžou jimi být jak webkamery s rozlišením 1200x800pixelů a vyšším, tak profesionální kamery s vysokým rozlišením a vysoce kvalitní optikou a senzorem.

## 6.2.2 Nastavení kamer v programu ANAGLYPH

Toto nastavení je nutné pouze, chceme-li použít program ANAGLYPH s jinými kamerami, než jsou použité Logitech C120.

Po fyzickém připojení kamer k počítači je třeba kamery a námi zvolené rozlišení definovat v prostředí programu Matlab. Pomocí příkazu `imaqhwinfo('winvideo')` nám bude navržena informace o všech dostupných zařízeních, jež budou definovány jako *DeviceIDs*, jak je ukázáno níže. Je nutné brát na vědomí, že tyto informace jsou uloženy do toolbox a pokud bychom v běhu programu připojili další zařízení, je třeba použít příkaz `imaqreset` pro obnovení toolbox.

```
>> info = imaqhwinfo('winvideo')

info =

    AdaptorDllName: 'C:\Program Files\toolbox\imaq\imaqadaptors\win32\mwwinvideoimaq.dll'
    AdaptorDllVersion: '3.1 (R2008a)'
    AdaptorName: 'winvideo'
    DeviceIDs: {[1] [2]}
    DeviceInfo: [1x2 struct]
```

Jak je vidět, byly nalezeny dvě zařízení, kterým byly přidány identifikátory [1] a [2]. Tedy dvě kamery, které budeme používat pro snímání pravého a levého obrazu. Pro zjištění možností, které kamery podporují, použijeme již výše zmíněný příkaz s identifikátorem daného zařízení, tedy `imaqhwinfo('winvideo',1)` či `imaqhwinfo('winvideo',2)`. Dále zjistíme podporované hodnoty rozlišení daných zařízení pomocí příkazu `Camera.SupportedFormats`, jak je uvedeno níže.

```
>> Camera = imaqhwinfo('winvideo',2)

Camera =

    DefaultFormat: 'RGB24_352x288'
    DeviceFileSupported: 0
    DeviceName: 'SoC PC-Camera'
    DeviceID: 2
    ObjectConstructor: 'videoinput('winvideo', 2)'
    SupportedFormats: {1x10 cell}

>> Camera.SupportedFormats

ans =

Columns 1 through 5

    'I420_160x120'    'I420_176x144'    'I420_320x240'    'I420_352x288'    'I420_640x480'

Columns 6 through 10

    'RGB24_160x120'    'RGB24_176x144'    'RGB24_320x240'    'RGB24_352x288'    'RGB24_640x480'
```

Nyní je potřeba požadované hodnoty, které jsme v předchozích krocích získali, dosadit do proměnné *Video* jednoduchou syntaxí `Video=videoinput('winvideo',1,'RGB24_640x480')`.

V programu ANAGLYPH je vše ulehčeno, jelikož výše popsané hodnoty o připojených zařízeních a jeho dostupných rozlišeních jsou automaticky vypsány při zapnutí programu v okně *Command Window* programu Matlab. Popsaná změna se týká řádků 106 a 136, které jsou opatřeny přehledným komentářem.

## 6.3 Ovládání programu ANAGLYPH

V této části bude čtenář detailně seznámen s prací v programu Anaglyph a jeho možnostmi.

Připojené kamery v programu spustíme kliknutím na tlačítko *Left camera* a *Right camera* v tlačítkovém poli *camera controls*. Jejich aktivací se na kamerách rozsvítí zelené kontrolky a v náhledovém poli *Left / Right camera* se nám zobrazí scéna před kamerami. Náhled simuluje pohled očima, tedy levá kamera odpovídá levému oku a pravá kamera oku pravému. Dojde-li k zobrazení scény před levou kamerou v náhledovém poli, aktivuje se tlačítko *Get Left Shot*, tlačítko *Get Right Shot* se aktivuje se zobrazením scény v pravém náhledovém poli. Je-li signál zaznamenán v obou polích současně, je možné pořídit stereoskopické fotografie najednou, aktivovaným tlačítkem *Get L&R Shot*. Z hlediska náročnosti kontinuálního přenosu dat je po získání snímků přenos z kamer/y zmražen. V případě nutnosti náhrady snímku z pravé či levé kamery můžeme aktivovat pouze tuto kameru a snímek jednoduše nahradit.

Získané snímky jsou zobrazeny v polích *Left / Right Image*. Pro případnou potřebu práce s oddělenými snímky v budoucnu klikneme na tlačítko *Save Left / Right* a jednotlivé fotografie uložíme ve formátu jpg či png, kdy komprese png je bezztrátová a jpg s 25% ztrátou. Podle toho, z jaké kamery obrázek pochází, bude před námi přidělený název fotografie umístěno „*Left\_*“ či „*Righ\_*“ podle jejího původu. Tlačítka *Load Left / Right* v tlačítkovém poli *Load Images* nám umožňují v jakémkoli okamžiku uploadovat tyto fotografie, případně použít fotografie pořízené jinou vizuální technikou v minulosti.

Jsou-li načteny obě fotografie, aktivuje se tlačítko *Create Anaglyph* v tlačítkovém poli *Anaglyph Controls*, kliknutím na něj se obrázky převedou do komplementárních barev, levý do červené a pravý do tyrkysové a dojde k jejich složení v poli *Anaglyph*. Nepatrné korekce vzniklé při pořizování fotografií, jako je vertikální paralaxa či malé nesrovnalosti uchycení kamer pomocí horizontálního a vertikálního posuvníku („slidebaru“). Posun je možný v rozsahu  $\pm 250$  pixelů po 1 pixelu. Při vzájemném posunu vznikají na okrajích jednobarevné pruhy - červený nebo tyrkysový, ty jsou rovny velikosti posunu a z výsledného obrázku jsou oříznuty. Z popsané teorie by se dalo říci, že pomocí této funkce můžeme navodit optický klam a anaglyf získat z jedné identické fotografie. Takto získaný anaglyf je však velmi nekvalitní. Výsledný anaglyf uložíme pomocí tlačítka *Save Anaglyph*, jako *Anaglyph\_\*\*\*.jpg/png* do námi zvoleného adresáře.

V programu máme několik možností náhledu stereoskopických obrázků v základních barvách RGB, barvách komplementárních pro vytvoření anaglyfů, odstínech šedí

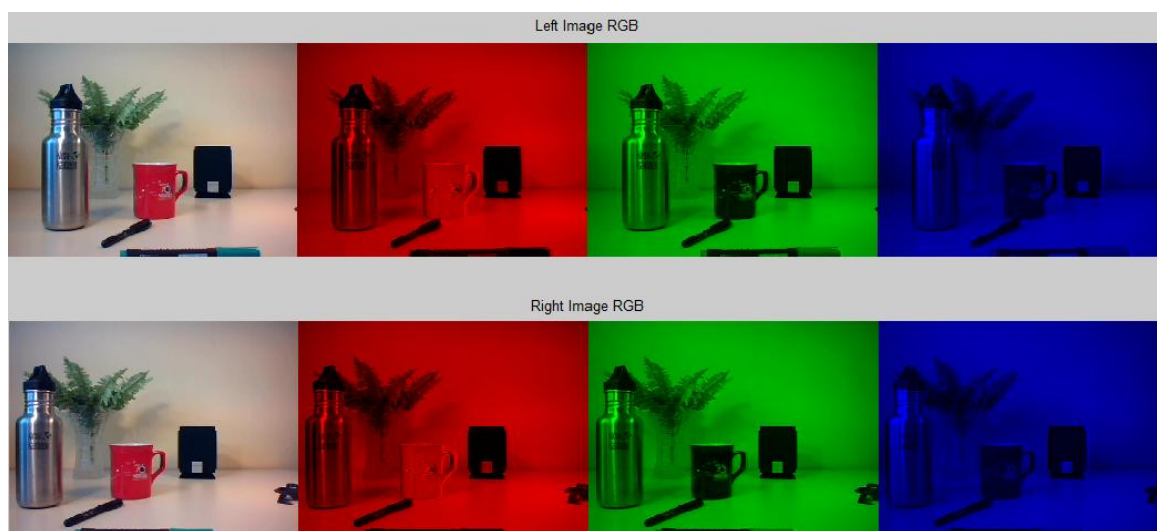
s histogramem, nebo s možností zjistit barevné hodnoty pixelů, vzdálenosti mezi subjekty na fotografii a základní parametry anaglyfu.

**Show RGB** – pravý a levý obrázek jsou přefiltrovány a ukázány postupně v jedné ze základních barev RGB. *Obrázek 29.*

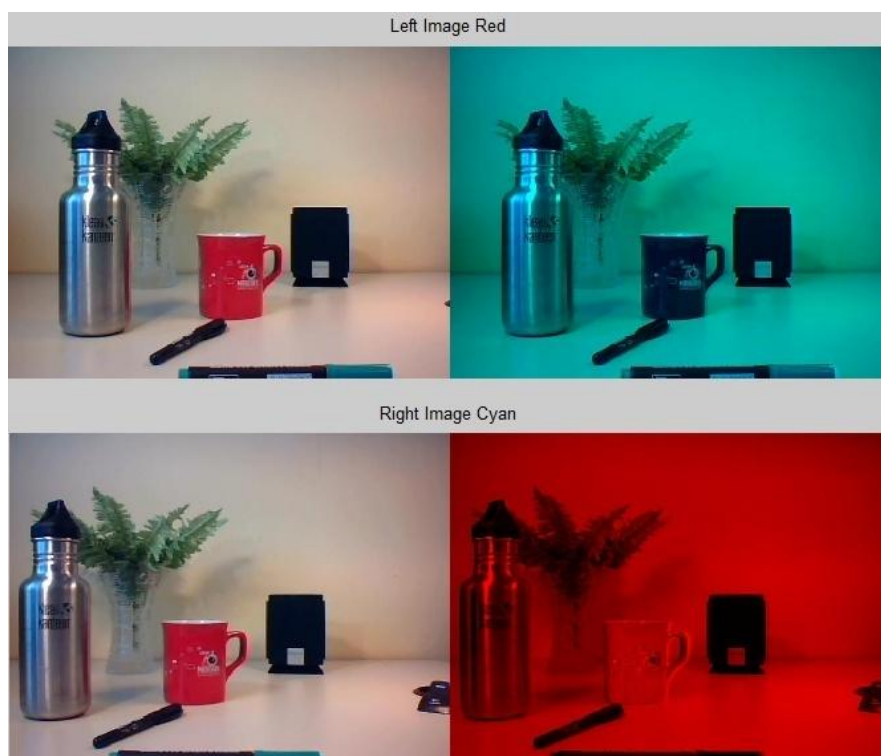
**Show Red&Cyan** – stereoskopické obrázky v komplementárních barvách červené a azurové, ze kterých byl vytvořen anaglyf, se otevřou ve vlastním okně společně s příslušným obrázkem v původních barvách. *Obrázek 30.*

**Grey & Histogram** – pravý a levý obrázek jsou převedeny do stupňů šedí, k nimž je zobrazen příslušný histogram. *Obrázek 31.*

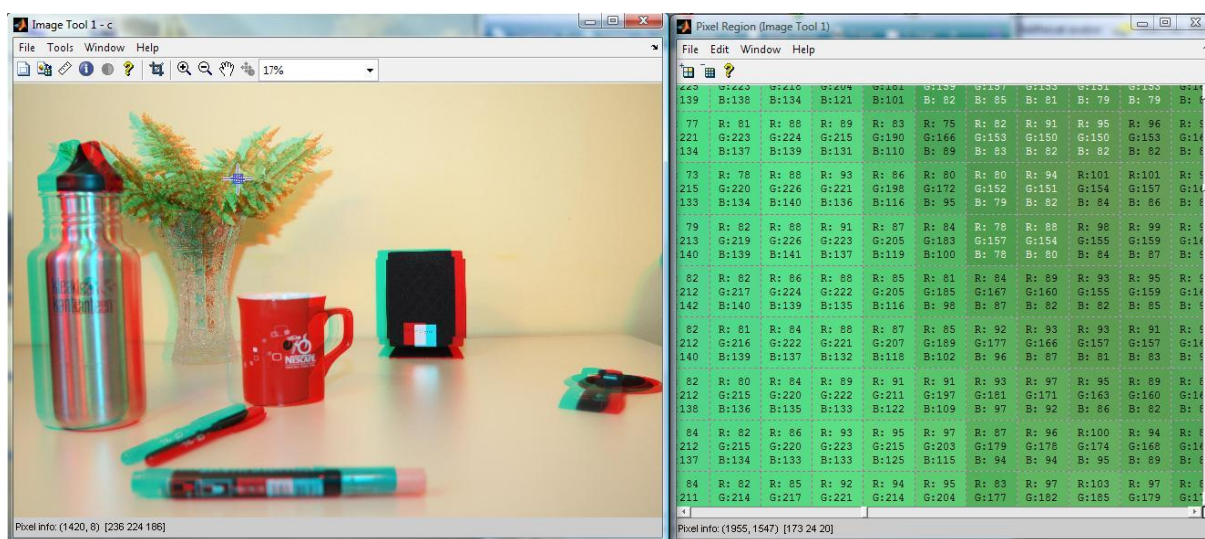
**Tools for Left / Right** – zde je nám umožněno zobrazit příslušnou oblast obrázků ve velikosti jednotlivých pixelů s hodnotami jednotlivých barevných složek RGB. Další možností je zjištění rozlišení obrázku. *Obrázek 32.*



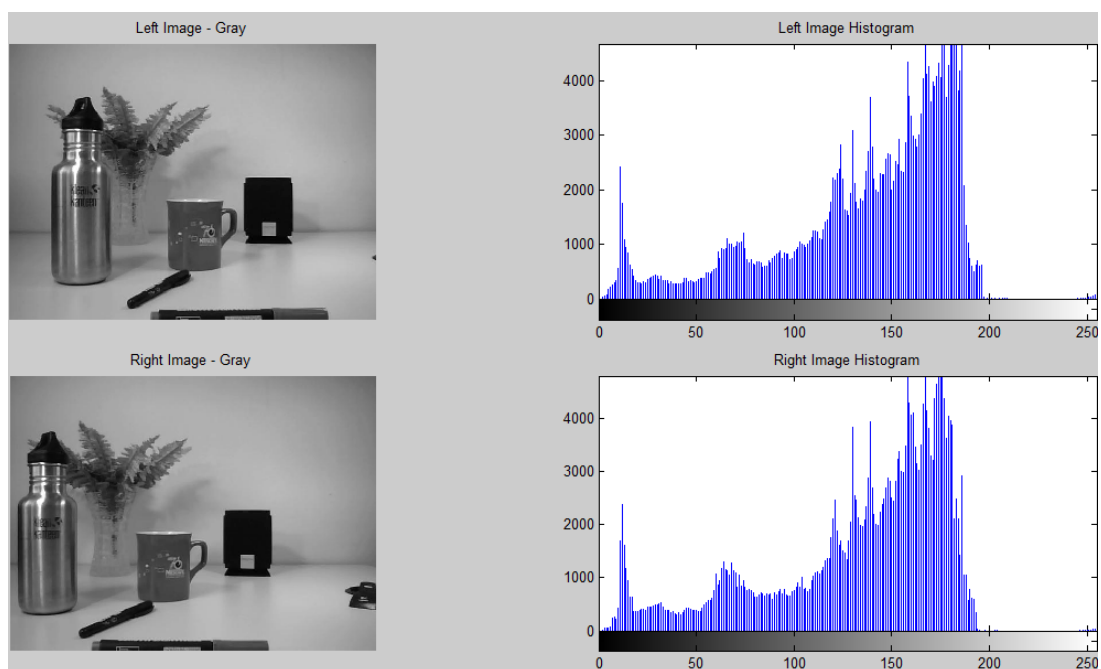
*Obrázek 29: Zobrazení RGB.*



Obrázek 30: Zobrazení Red&Cyan.



Obrázek 31: Barevná hodnota jednotlivých pixelů.



Obrázek 32: Zobrazení v stupních šedi & histogram.



## 7 VYTVOŘENÉ ANAGLYFY

V této části jsou představeny a zhodnoceny některé z pořízených anaglyfů na základě poznatků a podmínek uvedených v práci. K dispozici máme programově spouštěnou dvojici kamer Logitech C120, fotoaparát Canon 450D posouvaný po horizontále pomocí sáněk Manfrotto, a dvojici kamer Canon 450D spouštěných synchronně pomocí infračerveného dálkového ovládání RC1.

Podmínky, za kterých byly stereofotografie pořízeny, jsou u každé fotografie definovány. Fotografie byly prezentovány skupině 16 pozorovatelů se souborem dotazů (*PŘÍLOHA 2*) a na základě odpovědí stanoveny jejich klady a zápory.

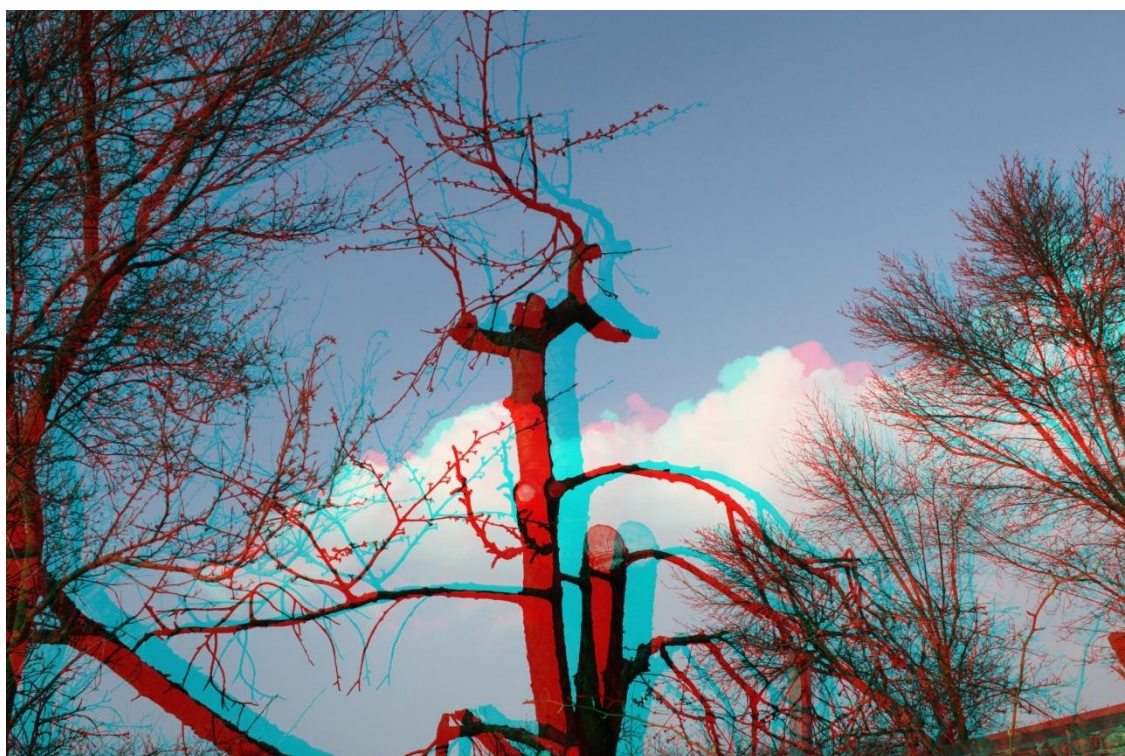
### 7.1 Anaglyf „A“

#### Použitá snímací aparatura a nastavené hodnoty:

Fotoaparát Canon 450D s pojezdovými sánkami Manfrotto, paralelní vedení os objektivů, dálková spoušť RC1.

- Objektiv: Canon EF 17-40mm f/4 L USM,
- Ohnisková vzdálenost: 20 mm
- Stativ: Zeico + pojezdné sánky Manfrotto
- Clona: 16, Doba expozice: 1/13 s, ISO: 200, Kompenzace expozice: 0 EV, Blesk: Ne
- Rozlišení: 4272x2848

U *obrázku 33 a 34* je použito paralelní vedení os objektivů do scény. U *obrázku 34* byla vzdálenost stereobáze rovna  $PD = 60\text{mm}$ , dle teorie vzdálenosti  $\frac{1}{30}$  teoretického horopteru. U *obrázku 33* je vzdálenost PD nastavena na maximální možnou hodnotu posunu sáněk Manfrotto 120mm.



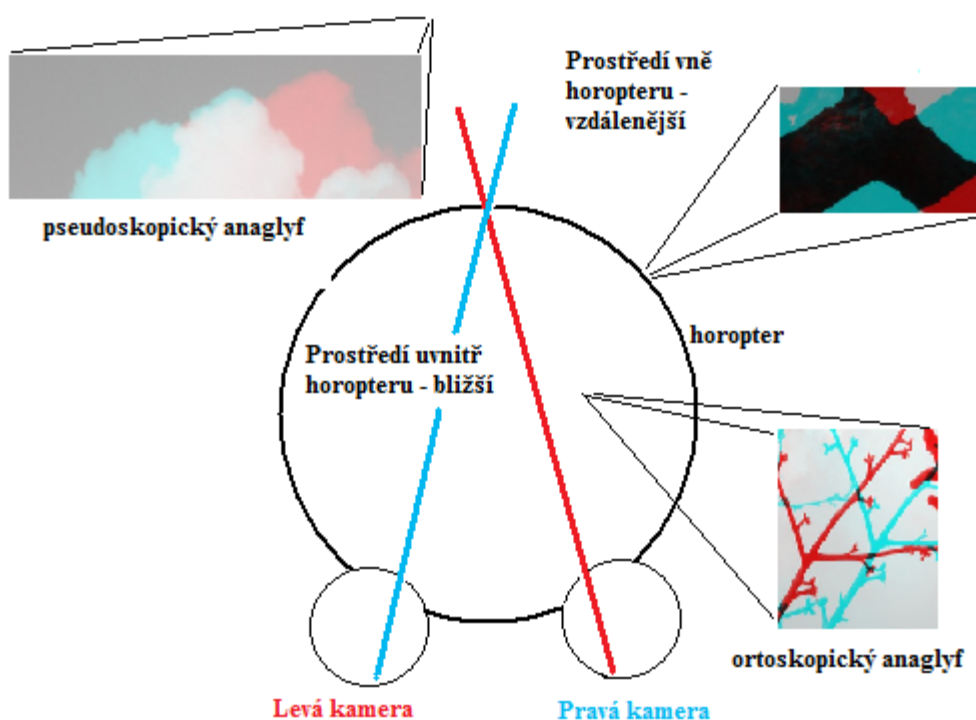
*Obrázek 33: Anaglyf „A“;  $PD = 120\text{mm}$ ,  $d = 3000\text{mm}$ .*



*Obrázek 34: Anaglyf „A“;  $PD = 60\text{mm}$ ,  $d = 3000\text{mm}$ .*



Při pořizování stereoskopických obrázků byl fixovaným objektem ve scéně strom, čímž jsme určili horopter snímku (*kapitola 3.3*), body ležící na horopteru dopadají v pravém i levém oku na identická místa sítnice a jsou tedy vnímány jednoduše. V uvedeném anaglyfu jsou tyto body složeny překrývající se červenou a azurovou barvou. Mají tedy barvu černou. Veškeré předměty nacházející se před horoptermem budou mít svůj červený obraz nalevo, azurový napravo, čímž dosáhneme efektu, že věci budou z obrázku vystupovat do popředí – ortoskopický anaglyf. Předměty za horoptermem budou mít na svůj červený obraz vpravo a azurový vlevo – pseudoskopický anaglyf. Tento jev je patrný velice dobře na větvích v popředí, které vystupují vpřed a naopak na oblakách v pozadí, které ustupují do hloubky obrazu. Tento popis je pro zjednodušení naznačen schematicky na *obrázku 35* (*Teoretický horopter pro anaglyf*).



Obrázek 35: Teoretický horopter pro anaglyf.

#### Zhodnocení snímací techniky na základě výsledků testu pro skupinu pozorovatelů:

*Obrázek 34*, kde je vzdálenost  $PD = 60\text{mm}$ , byl promítnut na projekční plátno s úhlopříčkou  $2,40\text{cm}$  v zatemněné místnosti celkem 17 pozorovatelům ve věku od 19 do 21 let umístěných ve vzdálenosti od  $4\text{m}$  do  $10\text{m}$  od projekčního plátna. Deset pozorovatelů bylo bez jakékoli dioptrické korekce a šest pozorovatelů mělo dioptrické brýle, před které použili brýle pro pozorování anaglyfů. Pozorovatelům byl předložen dotazník (*PŘÍLOHA 2*) a byli požádáni o jeho vyplnění na základě svého dojmu z pozorování daného anaglyfu.

Prostorový efekt za jasně patrný či patrný u anaglyfu „A“ označilo 87 % pozorovatelů, kdy pozorovatelé bez dioptrické korekce popsali prostorový efekt jako výraznější, než

pozorovatelé s dioptrickou korekcí využívající dioptrické brýle. Objekt podle 58 % pozorovatelů vystupuje před i za plátno (anaglyf pseudoskopický i ortoskopický dle [obrázku 35](#)), 31 % pozorovatelů vnímalo objekt jako vystupující před plátno do prostoru, zbytek popsal prostorový efekt za plátnem. Fotografie se zdála 68 % pozorovatelů ostrá a 81 % pozorovatelů vnímalo předměty na fotografii nezkreslené s ideálními rozměry. Výslednou barevnost anaglyfu popsalo 93 % pozorovatelů za realistickou či odpovídající. Bolest očí popsali celkově 3 pozorovatelé, kdy dva jsou právě ze skupiny s dioptrickou korekcí. Celkový dojem jako velmi dobrý či dobrý mělo 87 % pozorovatelů.

Hodnocený anaglyf byl pořízen s vysokým clonovým číslem 16 při ohniskové vzdálenosti objektivu 20mm. Dle hyperfokální tabulky ([Tabulka 3](#)) je ideální vzdálenost zaostření 0.83m, hloubka ostroty je pak od 0.415m do nekonečna, což dělá výslednou fotografii dostatečně ostrou v plné hloubce. Vzdálenost optických os objektivů, které jsou vedeny do scény paralelně je 60mm, čímž simulujeme vzájemnou vzdálenost lidských očí. Od uvedené ideální velikosti  $\frac{1}{30}$  stereobáze ze vzdálenosti horopteru scény je zde použita velikost stereobáze  $\frac{1}{50}$  vzdálenosti horopteru scény. Na základě výsledků pozorovatelů takto získaný anaglyf poskytuje patrný prostorový efekt s anaglyfem ortoskopickým a pseudoskopickým. Barevnost anaglyfů a celkový dojem je dle subjektivního hodnocení na kvalitní úrovni čemuž podstatně přispívá i vysoké rozlišení fotografií (4272x2848pixelů). Anaglyf můžeme označit jako kvalitní.

## 7.2 Anaglyf „B“

### Použitá snímací aparatura a nastavené hodnoty:

Fotoaparát Canon 450D s pojezdovými sáňkami Manfrotto, konvergující osy objektivů, dálkové spuštění RC1.

- Objektiv: Canon EF 17-40mm f/4 L USM,
- Ohnisková vzdálenost: 19 mm
- Stativ: Zeico
- Clona: 4, Doba expozice: 1/60s, ISO: 200, Kompenzace expozice: 0 EV, Blesk: Ano
- Rozlišení: 4272x2848



Obrázek 36: Anaglyf „B“;  $PD = 50\text{mm}$ ,  $d = 750\text{mm}$

#### **Zhodnocení snímací techniky na základě výsledků testu pro skupinu pozorovatelů:**

Anaglyf byl podroben stejnému testu subjektivního hodnocení skupiny pozorovatelů jako anaglyf „A“. Všichni uživatelé bez dioptrické korekce označili prostorový efekt anaglyfu za jasně patrný či patrný. U uživatelů dioptrických brýlí polovina označila prostorový efekt za jasně patrný, druhá polovina však za nepatrný či žádný, stejně tak se objevila bolest očí a jeden pozorovatel uvedl i bolest hlavy. Ve skupině pozorovatelů bez dioptrické korekce 80% pozorovatelů uvedlo, že anaglyf je ortoskopický, tedy vnímají ho před plátnem. Stejný počet označil anaglyf jako velmi ostrý. Všichni tito pozorovatelé vnímali objekt rozměrově nezkreslený a 90% uvedlo i realistické barevné provedení. Pouze jeden uživatel ze skupiny pozorovatelů bez dioptrické korekce uvedl bolest očí i hlavy, anaglyf současně označil za jasně patrný, ostrý a realistický barevné provedený. Celkový dojem z anaglyfu byl u 100 % pozorovatelů bez dioptrické korekce označen jako velmi dobrý či dobrý.

Tento způsob pořízení anaglyfů je simulací lidského pohledu, kdy dochází ke konvergenci os objektivů na fixovaném předmětu. Výslednou kvalitu a vysoký prostorový efekt s ideálním zachováním barev a realistickým podáním rozměrů předmětu potvrdila celá skupina pozorovatelů bez dioptrické korekce zraku. U pozorovatelů s dioptrickou korekcí se hodnocení jedné poloviny, které bylo celkově spíše kladné, od druhé poloviny skupiny se záporným hodnocením diametrálně lišilo. Rozdíl je způsoben vysokou výrazností prostorového efektu, který u pozorovatelů s dioptrickou korekcí způsoboval nepříjemný pocit a vyvolával bolest očí i hlavy. Celkovému kladnému hodnocení přispělo kromě techniky

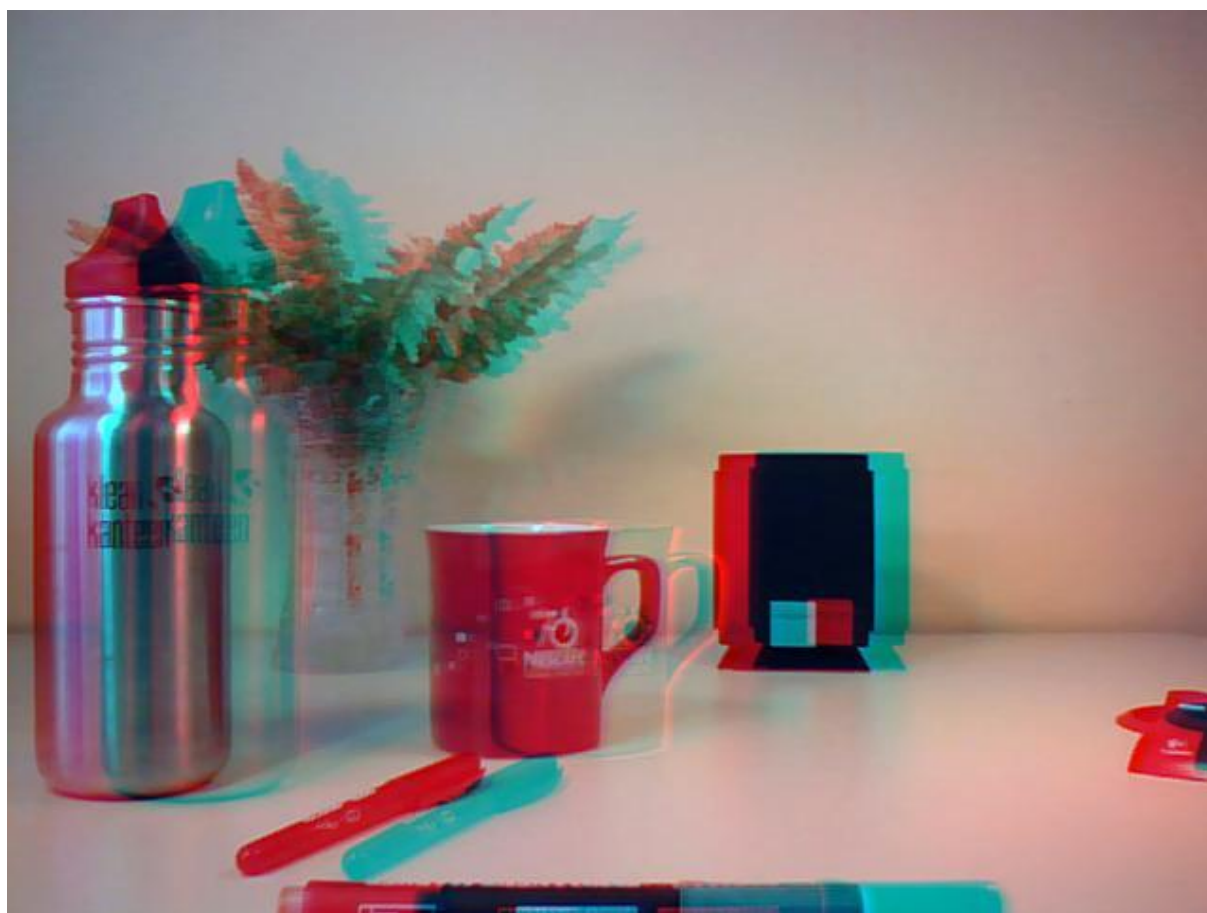
konvergujících os objektivů i vysoké rozlišení fotografií 4272x2848 pixelů. Vytvořený anaglyf můžeme označit za velmi kvalitní.

### **7.3 Anaglyf „C“**

#### **Použitá snímací aparatura a nastavené hodnoty:**

Dvojice programově řízených kamer Logitech C120, paralelní osy objektivů.

- Rozlišení: 680x480
- velikost stereobáze (PD) : 50mm



*Obrázek 37: Anaglyf „C“;  $PD = 50\text{mm}$ ,  $d = 600\text{mm}$*

#### **Zhodnocení snímací techniky na základě výsledků testu pro skupinu pozorovatelů:**

Prostorový efekt za jasně patrný označilo 12 % pozorovatelů. Jako patrný 56 % pozorovatelů zbytek označil prostorový efekt jako nepatrný a jeden pozorovatel nevnímal žádný prostorový efekt. U této otázky nejsou patrné rozdíly mezi pozorovateli s dioptrickou

korekcí a bez dioptrické korekce. Anaglyf jako ortoskopický i pseudoskopický označilo 62 % pozorovatelů, ze zbylých 38% označilo 19% pozorovatelů jako ortoskopický, tedy objekt vnímají před plátnem (pozorovatele bez dioptrické korekce) a 19 % pozorovatelů za anaglyf pseudoskopický, tedy objekt vnímáný za plátnem (pozorovatelé s dioptrickou korekcí). Jako neostrý označilo anaglyf celých 81 % pozorovatelů, to lze přisoudit nízkému rozlišení kamer Logitec C120 jež je 640x480 pixelů. Objekty ve scéně jako velikostně nezkreslené vnímalo 64 % všech pozorovatelů. Neodpovídající barevnost výsledného vnímaného obrazu udalo 56 % dotázaných. Bolest očí se vyskytla jen u skupiny pozorovatelů bez dioptrické korekce a to ve značné míře, u 60 % pozorovatelů z této skupiny uvedli dva i bolest hlavy. Celkový dojem hodnotilo 75 % pozorovatelů jako špatný či velmi špatný.

Tento anaglyf byl pořízen stejnou technikou snímání jako anaglyf „A“, tedy paralelní vedení os objektivů kamer do scény. Nízké rozlišení kamer Logitec C120 nemělo výrazný vliv na prezentaci výsledného prostorového efektu, který však byl nepatrně nižší než u použití fotoaparátu Canon 450D. Neostrost a neodpovídající barevnost vnímaného anaglyfu je důsledkem nízkého rozlišení použité snímací aparatury. Tato fakta přispěla k zvýšenému výskytu bolestí očí a hlavy z pozorování anaglyfu a vedla k celkovému hodnocení anaglyfu jako špatný až velmi špatný. U sníženého prostorového efektu a celkovém snížení kvality anaglyfu neuvedl ani jeden z pozorovatelů s dioptrickou korekcí bolest hlavy, naopak razantně zvýšená hodnota bolestí očí a hlavy se vyskytla u pozorovatelů bez dioptrické korekce. V porovnání s předchozím anaglyfem „C“ můžeme říci, že menší prostorový efekt anaglyfu zvyšuje hodnocení u pozorovatelů s dioptrickou korekcí a naopak snižuje hodnocení výsledného dojmu pozorovatelů s dioptrickými brýlemi.

## **7.4 Anaglyf „D“**

### **Použitá snímací aparatura a nastavené hodnoty:**

Dvojice kamer Logitec C120, konvergující osy objektivů kamer.

- Rozlišení: 680x480
- velikost stereobáze (PD) : 50mm



Obrázek 38: Anaglyf „D“;  $PD = 50\text{mm}$ ,  $d = 600\text{mm}$

#### **Zhodnocení snímací techniky na základě výsledků testu pro skupinu pozorovatelů:**

U tohoto anaglyfu byly použity konvergující osy objektivů, kdy byl ve scéně fixován hrníček. Jak je z obrázku patrné, vzniká zde jev vertikální paralaxy (diskutovaný v kapitole 5.4) u všech předmětů kromě právě fixovaného hrníčku. Nejvíce je tento jev patrný u lahve na pití vpředu a reproduktoru v zadu, kdy tyrkysový obraz můžeme označit jako umístěný vertikálně o něco výše než červený stereoskopický obrázek.

Výše uvedená fakta přispěla k tomu, že 62 % pozorovatelů nevnímalo žádný prostorový efekt, nebo byl velmi nepatrný. Několik hodnotitelů dokonce uvedlo, že prostorově se jeví jen hrníček a to jako anaglyf ortoskopický – 43 % pozorovatelů. Jako neostrý označilo anaglyf 75 % uživatelů. 68 % pozorovatelů uvedlo barevnost anaglyfu jako neodpovídající a 32 % označilo barevnou ztrátu anaglyfu za odpovídající. Bolest očí při pozorování anaglyfu se vyskytla u 31 % uživatelů, kdy dva uvedli i bolest hlavy. Celkový dojem označilo 82 % pozorovatelů jako špatný či velmi špatný. Použití konvergujících os objektivu je tedy velmi nevýhodné s nízkým rozlišením snímací aparatury a přítomností více předmětů ve scéně.

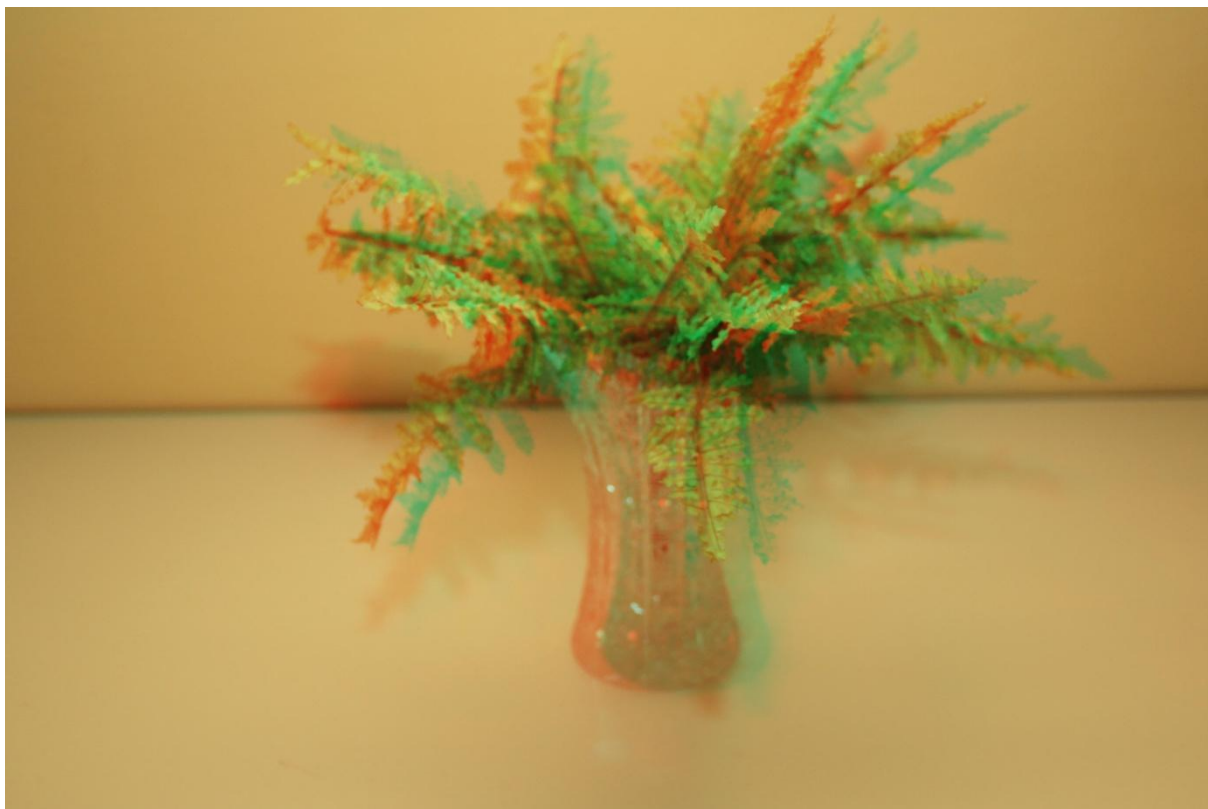


## 7.5 Subjektivní hodnocení optimální délky stereobáze

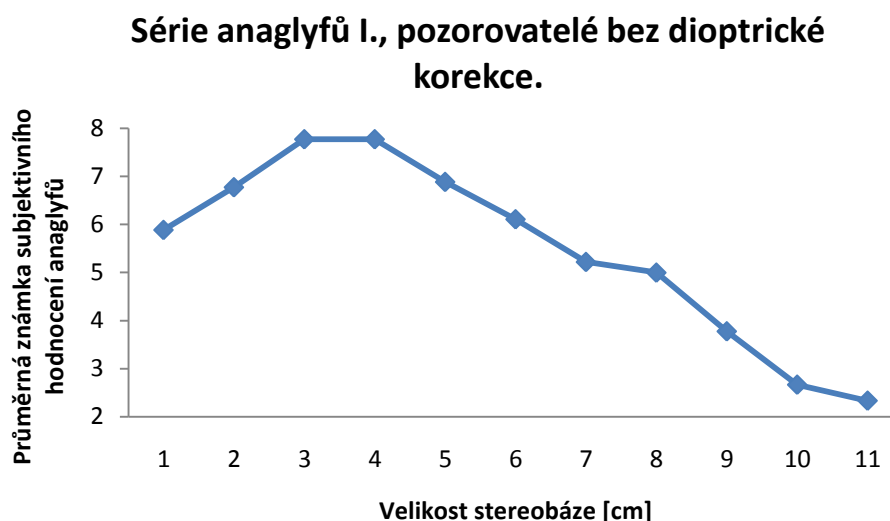
V navrhnutém testu, kde pozorovatelé hodnotili subjektivně jednotlivé anaglyfy „A“ až „D“, byly v druhé části zařazeny tři série 11 anaglyfů, u kterých měl pozorovatel za úkol přidělit každému anaglyfu známku od 1 do 10, kdy jednička reprezentuje nejhorší dojem, kterým anaglyf na pozorovatele působí a 10 dojem nejlepší (*PŘÍLOHA 2*). Aby si každý pozorovatel mohl vytvořit nejdříve objektivní představu o všech anaglyfech, byla každá série anaglyfů promítnuta dvakrát, kdy pozorovatel hodnotil jednotlivé anaglyfy až při druhém promítání. Zvlášť byly pak zpracovány dotazníky od pozorovatelů s dioptrickou korekcí a bez dioptrické korekce. Všechny získané hodnoty byly zaneseny do tabulky. U každého anaglyfu byla stanovena průměrná dosažená známka a následně zakreslena do grafu.

### 7.5.1 Série anaglyfů I.

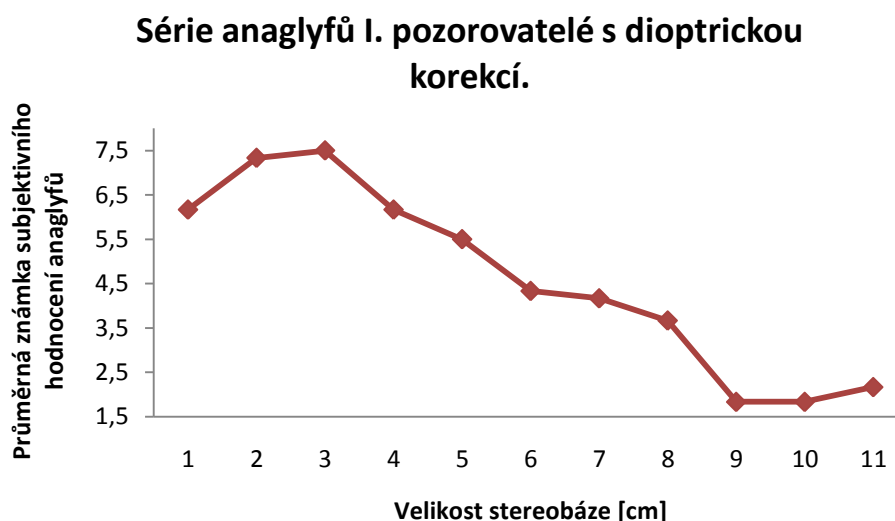
Fotografie byly pořízeny fotoaparátem Canon 450D. Vzdálenost fotoaparátu od scény  $d = 800\text{mm}$ . Rozlišením fotografií je 4272x2848pixelů. Objektiv Canon EF 17-40 mm f/4 L USM s nastaveným ohniskem 24mm.



Obrázek 39: Anaglyf ze série anaglyfů I., PD = 40mm.



Graf 1: Série anaglyfů I., pozorovatele bez dioptrické korekce.



Graf 2: Série anaglyfů I., pozorovatelé s dioptrickou korekcí.

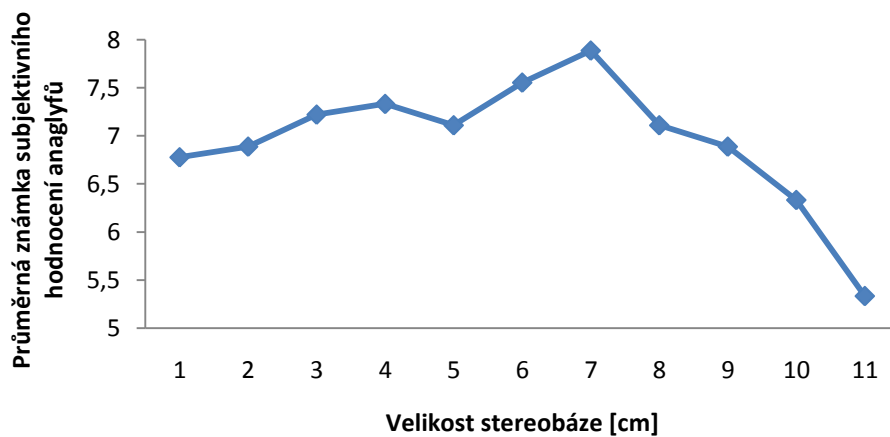
Dle hodnot zanesených do *grafu 1* je nejlépe hodnocen pozorovateli bez dioptrické korekce anaglyf se vzájemným posunem kamer pro získání pravého a levého stereobrázku o hodnotu stereobáze 30mm a 40mm, což je hodnota odpovídající  $\frac{1}{26}$  až  $\frac{1}{20}$  velikosti stereobáze vůči vzdálenosti fotoaparátu od předmětu, jež je rovna 800mm (*vzdálenost d*). Z grafu je patrný pozvolný nárůst hodnocení klasifikace pozorovatelů a od hodnoty stereobáze 40mm pozvolný pokles směrem k maximálnímu vzájemnému posunu fotoaparátů. Pozorovatelé s dioptrickou korekcí ohodnotili nejlépe anaglyf s velikostí stereobáze 20mm a 30mm (*graf 2*), tedy v oblasti  $\frac{1}{40}$  a  $\frac{1}{26}$  ze vzdálenosti *d*. Dle teorie s klesající hodnotou stereobáze se zmenšuje i velikost výsledného prostorového efektu.



### 7.5.2 Série anaglyfů II.

Fotografie byly pořízeny fotoaparátem Canon 450D. Vzdálenost fotoaparátu od scény  $d = 3,5m$  s rozlišením fotografií 4272x2848pixelů. Objektiv Canon EF 70-200 mm f/4 L USM s nastaveným ohniskem 160mm.

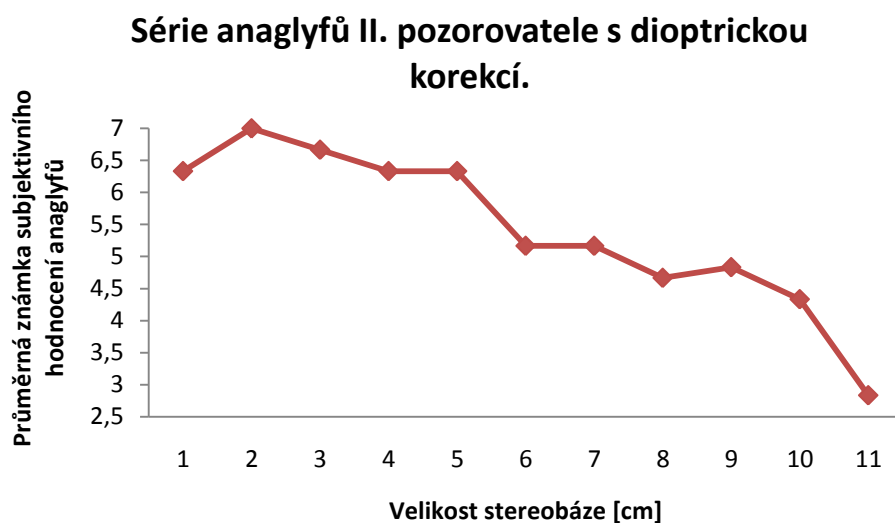
#### Série anaglyfů II. pozorovatelé bez dioptrické korekce.



Graf 3: Série anaglyfů II., pozorovatelé bez dioptrické korekce.



Obrázek 40: Anaglyf ze série anaglyfů II., PD = 70mm.



Graf 4: Série anaglyfů II., pozorovatelé s dioptrickou korekcí.



Obrázek 41: Anaglyf ze série anaglyfů II.,  $PD = 20\text{mm}$ .

Stereoskopické fotografie byly pořízeny ze vzdálenosti 3,5m za použití teleobjektivu Canon s nastaveným ohniskem 160mm. Se zvýšenou vzdáleností  $d$  fotografovaného předmětu od fotoaparátu se snižuje hodnota vertikální paralaxy. K dosažení ideálního prostorového efektu by se tedy dle probrané teorie měla hodnota stereobáze zvětšit oproti soutisku

stereoskopických obrázků pořízených ze scény umístěné v menší vzdálenosti  $d$  od fotoaparátu.

Jak je patrné z *grafu 3* pozorovatelé bez dioptrické korekce vnímali anaglyf pořízený s hodnotou stereobáze 70mm jako nejlepší. Hodnota stereobáze se zde rovná  $\frac{1}{50}$  vzdálenosti  $d$ . Dále hodnocení anaglyfů se vzrůstající hodnotou stereobáze rapidně klesá. Pro pozorovatele s dioptrickou korekcí se dle *grafu 4* jeví jako lepší anaglyfy s menším prostorovým efektem. To bylo již dokázáno v předešlých testech subjektivního pozorování anaglyfů.

### 7.5.3 Série anaglyfů III.

Třetí série obsahovala 11 různých anaglyfů pořízených s paralelním i konvergujícím vedením os objektivů a s různými hodnotami velikosti stereobáze. Soubor těchto anaglyfů slouží k potvrzení dílčích výsledků předchozích testů, kdy jsou představeny jen dva případně tři anaglyfy z určité série s rozdílnou hodnotou stereobáze. Pro důvěryhodnost byly zařazeny tři anaglyfy se změnou stereobáze o 5mm (55mm, 60mm a 65mm) a nepatrnou změnou nastavení EV (+0.25, 0, -0.25). Výsledky se shodují s předchozími hodnotami uvedených testů. Prezentace v elektronické podobě je uvedena na přiloženém disku DVD.

## 8 ZÁVĚR

V úvodní části diplomové práce je čtenář seznámen se základy anatomie lidského oka. Jelikož stavba tohoto orgánu je velice komplikovaná, jsou popsány části, které souvisí převážně s přenosem světla na sítnici, tedy z fyzikálního hlediska optické části a dále části, související s převodem světelného signálu na evokované potencionály pomocí sítnice a jejich přenos s následným zpracováním informací lidským mozkem, kdy dochází k porovnávání a zhodnocování se zkušenostmi akumulovanými během života. Dále je rozebrána fyziologická podstata binokulárního vidění. Seznámení s myšlenkou uvádějící princip, na kterém je založen postup zhotovení anaglyfů. Z této části vyplývá základní hodnota velikosti stereobáze, jako  $\frac{1}{30}$  délky od horopteru scény (uváděna v práci také jako vzdálenost PD), aplikované při pořizování dvojice stereoskopických obrázků.

V práci byla popsána historie vzniku stereoskopie a nejpoužívanější metody prostorového zobrazování s uvedením principů a technologie dané prezentace. Tvorbě anaglyfů, prezentaci a problematice s tím spojené se podrobně věnuje obsáhlá kapitola *Anaglyf*.

Důležitým faktorem ovlivňující vytvoření dvojice stereoskopických obrázků v aditivních barvách, jejich následném složení a interpretaci pozorovateli, je barevné spektrum obrázku a identická barevnost filtrů u brýlí použitých k pozorování vytvořeného anaglyfu. Dle barevného modelu RGB zobrazeného v gamutu barev lidského vidění, který je uveden v kapitole 5.2 (*Barevné modely*) je vybrána jako nejvhodnější dvojice doplňkových barev pro tvorbu anaglyfů a filtry brýlí použitých k jejich pozorování barva červená (red) a azurová (cyan). Tyto dvě barvy jsou používány v průběhu všech testů a uvedených výsledků diplomové práce.

Pro vytváření anaglyfů jsou použité posuvné sánky kamery od firmy Manfrotto, kde dochází k posunu kamery po horizontále v námi definované vzdálenosti v hodnotách 0÷120mm. Tento držák byl překreslen do elektronické podoby v programu Autodesk Inventor 2009 Suite a následně byl v tomto programu vytvořen návrh pro držák dvou kamer, umožňující zachycovat dynamický vývoj scény. Na základě teorie rozebrané v práci byl držák navrhnout s možností konvergence optických os objektivů kamer, kdy dojde k jejich vzájemnému protnutí ve fixovaném bodě scény. Tím je simulován lidský pohled.

Pro složení dvou stereobrázků do výsledného anaglyfu byl napsán M-script ANAGLYPH v prostředí GUI programu Matlab 2008b společnosti MathWorks. Program je navíc doplněn o možnost připojení dvojice externích kamer a jejich řízení přímo z programu. Praktickým doplňkem je eliminace a případné upravení hodnot vertikální i horizontální paralaxy pomocí posuvníků. Implementována je možnost zobrazení základních stereo obrázků v různých barevných hodnotách, informace o rozlišení fotografie, barevné hustotě jednotlivých pixelů a histogramu fotografií pomocí nastavení. V práci se setkáváme s použitou dvojicí kamer Logitech C120 připojených k počítači a dvojicí fotoaparátů třídy DSLR s dosahovaným rozlišením pořízených snímků v hodnotě 4272x2848 pixelů, jež jsou základem pro získání velmi kvalitních stereoskopických obrázků. Kamery Logitech C120

dosahují nižšího rozlišení stereoskopických obrázků v hodnotách 640x480pixelů. Anaglyfy vytvořené jejich použitím neposkytují námi požadovanou kvalitu, je zde však možnost tyto kamery nahradit záznamovým zařízením dosahujícím vysokého rozlišení.

Na základě rozebraných technik paralelního vedení os objektivů do scény, konvergujících os objektivů ve scéně a dle typu použité snímací aparatury byly získány čtyři základní anaglyfy. Ty jsme označili písmeny „A“ až „D“. Obrázek „A“ reprezentuje paralelní vedení os objektivů fotoaparátu a obrázek „B“ konvergující vedení os objektivů fotoaparátů Canon 450D s rozlišením 4272x2848 pixelů. U obrázku „C“ a „D“ bylo použito stejné kombinace vedení os objektivů do scény, avšak tentokrát s kamerami Logitech C120 s rozlišením 640x480 pixelů. Získané anaglyfy byly promítnuty v zatemněné místnosti pomocí dataprojektoru na projekční plátno s úhlopříčkou 2,42m. Rozdílné výsledků byly zjištěny u pozorovatelů používajících dioptrické brýle a skupiny bez dioptrické korekce. Nejlepší hodnocený byl anaglyf „B“ s konvergujícími osami fotoaparátu Canon 450D. Výrazný prostorový efekt působil však pozorovatelům s dioptrickou korekcí bolest očí a hlavy. Tento fakt byl potvrzen i v následující části testu, kdy na základě průměrné hodnoty výsledků dotazníku všech zúčastněných pozorovatelé bez dioptrické korekce označili jako kvalitnější anaglyf složený ze stereobrázků s větším posunem fotoaparátů vůči sobě. Čímž je dosaženo vyššího prostorového efektu. Pozorovatelé s dioptrickou korekcí označovali za lépe pozorovatelné anaglyfy s menší hodnotou stereobáze, u kterých jedinci ze skupiny bez dioptrické korekce vnímali menší prostorový efekt.

Pomocí dotazníku byla potvrzena v práci rozebraná teorie, kdy pro správné vytvoření kvalitních stereoskopických obrázků metodou anaglyfů je třeba dodržovat daná pravidla. Mezi základní podmínky úspěšné tvorby anaglyfů patří vysoké rozlišení fotografií s dostatečnou hloubkou ostrosti. Osy objektivů musí vést identickou horizontálou scény, aby nevznikla vertikální paralaxa vyrušující prostorový efekt anaglyfu. Při volbě konvergujících os objektivů ve scéně je nutno volit správnou kompozici scény, která obsahuje homogenní pozadí a dominantní předmět ve scéně s centrálním umístěním. Při větším počtu předmětů ve scéně vzniká opět vertikální paralaxa a vyrušení prostorového efektu, v tomto případě je pak vhodné volit paralelní vedení os objektivů. Teoreticky stanovenou vzdálenost vzájemného postavení kamer ve směru horizontály rovnou  $\frac{1}{30}$  vzdálenosti horopteru scény jsme testy před skupinou pozorovatelů potvrdili, kdy je třeba vzít v potaz individualitu vnímání každého pozorovatele. Zjistili jsme, že pozorovatelé s dioptrickou korekcí upřednostňují nižší hodnotu stereobáze a tím méně výrazný prostorový efekt než pozorovatelé bez dioptrické korekce, ideální vzájemná vzdálenost kamer pro obě skupiny se pak pohybuje v oblasti  $\frac{1}{50}$  vzdálenosti horopteru scény.

## 9 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] **GALMUSOVÁ, Andrea.** *Učební texty pro oční optiky, optometristy a oftalmology* MU, 2000-2008.
- [2] **POLÁŠEK, Jaroslav.** *Vidění a brýlová korekce.* Praha: Výzkumný ústav zvukové, obrazové a reprodukční techniky, 1973. 100s.
- [3] **KVAPÍLKOVÁ, Květa.** *Anatomie a embryologie oka, učební texty pro oční optiky a oční techniky, optometristy a oftalmology.* 1.vyd. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2000. 206 s. ISBN 80-7013-313-9
- [4] **GANONG, William F., et al.** *Přehled lékařské fysiologie.* Praha: Nakladatelství a vydavatelství H&H, 1995. 325 s. ISBN 80-85787-16-4
- [5] **HLAVÁČ, Miroslav.** *Zaostření–expozice: základy dobrého zraku.* Praha: Nakladatelství Jaroslav Spousta, 1946. 59 s.
- [6] **KOLÁŘ, R.** *Přednáškové texty Lékařské diagnostické techniky.* VUT v Brně. Brno, 2008.
- [7] **KREJČOVÁ, J.** *Fysiologie a patologie očních pohybů.* 1. vyd. Praha: Avicenum, 1973. 108 s.
- [8] **JÁN, J.** *Číslíková filtrace, analýza a restaurace signal.* 2. upr. a rozš. vyd. Brno: VUTUM, 2002. 427 s. ISBN 80-214-1558-4
- [9] **ROSINA, J., KOLÁŘOVÁ J., STANEK, H.** *Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů.* 1. vyd. Praha: Grada, 2006. 230 s. ISBN 80-247-1383-7
- [10] **HLAVÁČ, V., ŠONKA, M.** *Počítačové vidění.* Praha: Grada, 1992. ISBN 80-85424-67-3
- [11] **HOMANS, A.** *Textbook of Surgery, 5th ed.* Springfield. IL. C.C. Thomas, 1941.
- [12] **PECKA, K., MATĚJČEK, J.** *Využití stereoskopie ve vyučování.* 1.vyd. Praha: Nakladatelství SPN, 1982. 50 s.
- [13] **MACHALA, F.** *Středové promítání a lineární perspektiva.* 1.vyd. Olomouc: Univerzita Palackého, 1992. 132 s. ISBN 80-7067-165-3
- [14] **KRAUS, J. a kol.** *Nový akademický slovník cizích slov A-Ž.* 1. vyd. Praha: Academia, 2005. 879 s. ISBN 80-200-1351-2

- [15] **SIRBENAGL S., DESPOPOLOUS A.** *Atlas fyziologie člověka*. 2. vyd. Praha: Grada Avicenum, 1993. 300-315s. ISBN 80-85623-79-X
- [16] *History of anaglyph* [online]. 2010 [cit. 2010-04-21]. Dostupný z WWW: <[http://members.chello.nl/h.leeuwen6/anaglyph\\_bestanden/page2.htm](http://members.chello.nl/h.leeuwen6/anaglyph_bestanden/page2.htm)>.
- [17] *Von Hippel-Lindau: Ocular Complications* [online]. 2010 [cit. 2009-04-21]. Dostupný z WWW: <<http://www.vhl.org/newsletter/vhl1994/94ceeye.php>>.
- [18] *Sensory physiology, eye-brain-colors* [online]. 2010 [cit. 2010-04-21]. Dostupný z WWW: <[www.david-romeuf.fr/3D/Anaglyphes/BonCoupleEL/GoodCoupleMonitorGlassesAnaglyph.html](http://www.david-romeuf.fr/3D/Anaglyphes/BonCoupleEL/GoodCoupleMonitorGlassesAnaglyph.html)>.
- [19] *Vision* [online]. 2010 [cit. 2010-04-21]. Dostupný z WWW: <<http://www.unmc.edu/physiology/Mann/mann7.html>>.
- [20] *Nature of light* [online]. 2010 [cit. 2010-04-21]. Dostupný z WWW: <[www.skybooksusa.com/time-travel/physics/electrom.htm](http://www.skybooksusa.com/time-travel/physics/electrom.htm)>.
- [21] *3D polarizační modulátor* [online]. 2010 [cit. 2010-04-21]. Dostupný z WWW: <[www.depthq.com/modulator.html](http://www.depthq.com/modulator.html)>.
- [22] *Autostereoscopic displays* [online]. 2010 [cit. 2010-04-21]. Dostupný z WWW: <[www.3d-forums.com/autostereoscopic-displays-t1.html](http://www.3d-forums.com/autostereoscopic-displays-t1.html)>.
- [23] *INFITEC stereo display technology* [online]. 2010 [cit. 2010-04-21]. Dostupný z WWW: <<http://www.infitec.net>>.
- [24] *Vše o světle* [online]. 2010 [cit. 2010-04-21]. Dostupný z WWW: <[www.fotografovani.cz/art/fozak\\_df/rom\\_1\\_05\\_colormodels.html](http://www.fotografovani.cz/art/fozak_df/rom_1_05_colormodels.html)>.
- [25] *Canon* [online]. 2010 [cit. 2010-04-21]. Dostupný z WWW: <[www.canon.com](http://www.canon.com)>.
- [26] *Barva a její obraz v PC* [online]. 2010 [cit. 2010-04-30]. Dostupný z WWW: <[http://www.fotografovani.cz/art/hp\\_foto/rom\\_color1.html](http://www.fotografovani.cz/art/hp_foto/rom_color1.html)>.
- [27] *Hyperfokální tabulka* [online]. 2010 [cit. 2009-04-30]. Dostupný z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Hyperfokální\\_tabulka](http://cs.wikipedia.org/wiki/Hyperfokální_tabulka)>.
- [28] *Anaglyph graph example* [online]. 2010 [cit. 2010-04-30]. Dostupný z WWW: <[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anaglyph\\_example\\_graph.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anaglyph_example_graph.png)>.
- [29] *Different schematic eyes and their accuracy to the in vivo eye* [online]. 2010 [cit. 2010-01-15]. Dostupný z WWW: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-97332007000300008&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-97332007000300008&script=sci_arttext)>.

## POUŽITÉ ZKRATKY A NÁZVOSLOVÍ

**Paralaxa** - vyjadřuje hodnotu úhlu, který svírají dvě přímky vycházející s dvou různých bodů v prostoru.

**Stereobáze** - hodnota vzájemné vzdáleností mezi osami objektivů nebo očí směřujících do prostoru.

**GUI (graphical user interface)** - grafické rozhraní programu umožňující jeho ovládání pomocí vytvořených grafických prvků.

**DSLR (digital single-lens reflex camera)** - digitální fotoaparát využívající zrcadlového systému pro přeměrování světla z objektivu fotoaparátu do jeho hledáčku, případně na CMOS senzor.

**Crop factor** - koeficient, kterým se přepočítává ohnisková vzdálenost, jakou by měl objektiv se stejným zorným úhlem při použití fotoaparátu se snímačem o velikosti kinofilmového políčka.

**USM (Ultra Sonic Motor)** - systém pohonu ostření objektivů Canon EF, využívající piezoelektrického mikromotorku. Výsledkem je velmi rychlé, prakticky neslyšitelné zaostření.

**AL (Aspherical Lens)** - optické členy s nekulovým povrchem. Zajišťují jednak vysokou ostrost i při odcloněném objektivu a kompenzaci sférické aberace, korekci zkreslení širokoúhlých objektivů.



# PŘÍLOHY

## PŘÍLOHA 1: Ukázka zdrojového kódu programu ANAGLYPH

```
function pbCamL_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to pbCamL (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
display ActivL
imaqreset
imaqhwinfo('winvideo')
Camera = imaqhwinfo('winvideo',1);
Camera.SupportedFormats

%if you are using yours video devices here is please change ID of device
%>> 1 << and reswolution of devices >> 'RGB24_640x480' <<
Video = videoinput('winvideo',1,'RGB24_640x480');

axes(handles.CAM_L);
vidRes = get(Video, 'VideoResolution');
nBands = get(Video, 'NumberOfBands');
hImage = image(zeros(vidRes(2), vidRes(1),nBands));
preview(Video,hImage);
axis off
handles.TemporaryCAML = 1;
set(handles.pbShotL, 'Enable', 'on');

if ((handles.TemporaryCAMR == 1) && (handles.TemporaryCAML == 1));
    set(handles.pbShotRL, 'Enable', 'on');
end
guidata(hObject, handles);

% --- Executes on button press in pbShotRL.
function pbShotRL_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to pbShotRL (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
%get shot from L&R camera
imaqreset
axes(handles.ImRight);
handles.ImageRight = getimage(handles.CAM_R);
image(uint8(handles.ImageRight));
axis off;
handles.TemporaryRight = 1;

h = waitbar(0, 'Please wait for shots from L&R camera...');
for i=1:10, % computation here %
waitbar(i/10)
end
close(h)
```

## PŘÍLOHA 2: Test předkládaný skupině pozorovatelů

Respondent					
pohlaví:	muž	žena			
věk:					
dioptrická korekce:	ano	ne			
strabismus:	ano	ne			

Obrázek „A“		
Způsob prezentace:	monitor	projekční plátno
Vzdálenost od projekční plochy [m]:		
Úhlopříčka projekční plochy [cm]:		

Hodnocené veličiny	Možnosti hodnocení				jiná možnost
Prostorový efekt:	jasně patrný	patrný	nepatrný	žádný	
Objekt vnímám:	před plátnem	za plátnem	před i za plátnem		
Obraz mi přijde:	velmi ostrý	ostrý	neostrý		
Dle mých životních zkušeností je objekt:	zkreslený výškově	zkreslený na šířku	s ideálními rozměry	nereálný	
Barevnost obrazu:	realistická	odpovídající	neodpovídající		
Bolest očí:	ano	ne			
Bolest hlavy:	ano	ne			
Celkový dojem:	velmi dobrý	dobrá	špatný	velmi špatný	

Poznámky:

Obrázek „B“		
Způsob prezentace:	monitor	projekční plátno
Vzdálenost od projekční plochy [m]:		
Úhlopříčka projekční plochy [cm]:		

Hodnocené veličiny	Možnosti hodnocení				jiná možnost
Prostorový efekt:	jasně patrný	patrný	nepatrný	žádný	
Objekt vnímám:	před plátnem	za plátnem	před i za plátnem		
Obraz mi přijde:	velmi ostrý	ostrý	neostrý		
Dle mých životních zkušeností je objekt:	zkreslený výškově	zkreslený na šířku	s ideálními rozměry	nereálný	
Barevnost obrazu:	realistická	odpovídající	neodpovídající		
Bolest očí:	ano	ne			
Bolest hlavy:	ano	ne			
Celkový dojem:	velmi dobrý	dobrá	špatný	velmi špatný	

Poznámky:

Obrázek „C“

<b>Způsob prezentace:</b>	monitor	projekční plátno
<b>Vzdálenost od projekční plochy [m]:</b>		
<b>Úhlopříčka projekční plochy [cm]:</b>		

Hodnocené veličiny	Možnosti hodnocení				jiná možnost
<b>Prostorový efekt :</b>	jasně patrný	patrný	nepatrný	žádný	
<b>Objekt vnímán:</b>	před plátnem	za plátnem	před i za plátnem		
<b>Obraz mi přijde:</b>	velmi ostrý	ostrý	neostrý		
<b>Dle mých životních zkušeností je objekt:</b>	zkreslený výškově	zkreslený na šířku	s ideálními rozměry	nereálný	
<b>Barevnost obrazu:</b>	realistická	odpovídající	neodpovídající		
<b>Bolest očí:</b>	ano	ne			
<b>Bolest hlavy:</b>	ano	ne			
<b>Celkový dojem:</b>	velmi dobrý	dobry	špatný	velmi špatný	

Poznámky:

Obrázek „D“

<b>Způsob prezentace:</b>	monitor	projekční plátno
<b>Vzdálenost od projekční plochy [m]:</b>		
<b>Úhlopříčka projekční plochy [cm]:</b>		

Hodnocené veličiny	Možnosti hodnocení				jiná možnost
<b>Prostorový efekt :</b>	jasně patrný	patrný	nepatrný	žádný	
<b>Objekt vnímán:</b>	před plátnem	za plátnem	před i za plátnem		
<b>Obraz mi přijde:</b>	velmi ostrý	ostrý	neostrý		
<b>Dle mých životních zkušeností je objekt:</b>	zkreslený výškově	zkreslený na šířku	s ideálními rozměry	nereálný	
<b>Barevnost obrazu:</b>	realistická	odpovídající	neodpovídající		
<b>Bolest očí:</b>	ano	ne			
<b>Bolest hlavy:</b>	ano	ne			
<b>Celkový dojem:</b>	velmi dobrý	dobry	špatný	velmi špatný	

Poznámky:

## Hodnocení ideální velikosti stereobáze

V této části budou představeny v prezentaci tři série anaglyfů s postupně rostoucí hodnotou velikosti stereobáze (vzájemné vzdálenosti snímačů fotoaparátu, kamer), a to v hodnotách od 10 mm po 110mm s krokem posunu 10mm. Celkově tedy 11 anaglyfů v každé sérii. Respondent má za úkol ohodnotit anaglyf známkou na škále 1 až 10. Jedna je nejhorší a 10 nejlepší vizuální dojem, kterým anaglyf na respondenta působí. Každá série bude promítnuta dvakrát, kdy respondent uděluje známky až při druhé části promítání.

Série I:

číslo anaglyfů	1	2	3	4	5	6
hodnocení						

číslo anaglyfů	7	8	9	10	11
hodnocení					

Série II:

číslo anaglyfů	1	2	3	4	5	6
hodnocení						

číslo anaglyfů	7	8	9	10	11
hodnocení					

Série III:

číslo anaglyfů	1	2	3	4	5	6
hodnocení						

číslo anaglyfů	7	8	9	10	11
hodnocení					

## PŘÍLOHA 3: Gullstandův model oka

Tabulka 4: Základní optické veličiny Gullstrandova oka [29].

	Akomodace		
	uvolněná		maximální
<b>Indexy lomu</b>			
rohovka		1,376	
komorová voda		1,336	
kůra čočky		1,386	
jádro čočky		1,406	
sklivec		1,336	
<b>Vzdálenost od vnějšího vrcholu rohovky</b>			
přední plocha rohovky		0,000 mm	
zadní plocha rohovky		0,500 mm	
přední plocha čočky	3,600 mm		3,200 mm
přední plocha jádra čočky	4,146 mm		3,873 mm
zadní plocha jádra čočky	6,665 mm		6,528 mm
zadní plocha čočky	7,200 mm		7,200 mm
<b>Poloměry křivosti</b>			
přední plocha rohovky		7,700 mm	
zadní plocha rohovky		6,800 mm	
přední plocha čočky	10,000 mm		5,330 mm
přední plocha jádra čočky	7,911 mm		2,655 mm
zadní plocha jádra čočky	-5,760 mm		-2,655 mm
zadní plocha čočky	-6,000 mm		-5,330 mm
<b>Optická mohutnost</b>			
přední plocha rohovky		48,831 D	
zadní plocha rohovky		-5,882 D	
rohovka		43,053 D	
přední plocha čočky	5,000 D		9,375 D
jádro čočky	5,985 D		14,960 D
zadní plocha čočky	8,330 D		9,375 D
celá čočky v oku	19,110 D		33,060 D
soustava oka	58,64 D		70,57 D
<b>Poloha hlavních bodů</b>			
hlavní bod předmětový	1,348 mm		1,722 mm
hlavní bod obrazový	1,602 mm		2,086 mm

<b><i>Poloha uzlových bodů</i></b>			
uzlový bod předmětový	7,078 mm		5,633 mm
uzlový bod obrazový	7,332 mm		5,997 mm
<b><i>Poloha ohnisek</i></b>			
ohnisko předmětové	-15,707 mm		-12,397 mm
ohnisko obrazové	24,387 mm		21,016 mm
Poloha sítnice		24,000 mm	
<b><i>Ohniskové vzdálenosti</i></b>			
ohnisková vzdálenost předmětová	-17,054 mm		-14,169 mm
ohnisková vzdálenost obrazová	22,875 mm		18,030 mm